



**Universidad
Politécnica
de Cartagena**

Tesis Doctoral

**Optimización del diseño higiénico de los sistemas
frigoríficos. Análisis del caso de los
condensadores evaporativos.**

Presentada por

ANTONIO MANUEL CASTAÑO VILLAR

Ingeniero Agrónomo y Ms en Técnicas Avanzadas de I+D Agrario y Alimentario
Para optar al grado de Doctor por la Universidad Politécnica de Cartagena

Dirigida por

Dr. ANTONIO LÓPEZ GÓMEZ

Dr. ALFREDO PALOP GÓMEZ

Departamento de Ingeniería de Alimentos
y del Equipamiento Agrícola

Cartagena, Enero de 2014



**CONFORMIDAD DE SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE DEPÓSITO DE
TESIS DOCTORAL POR LOS DIRECTORES DE LA TESIS**

D. ANTONIO LÓPEZ GÓMEZ y D. ALFREDO PALOP GÓMEZ, como Directores de la Tesis doctoral “Optimización del diseño higiénico de los sistemas frigoríficos. Análisis del caso de los condensadores evaporativos”

INFORMAN:

Que la referida Tesis Doctoral ha sido realizada por D. Antonio Manuel Castaño Villar, dando nuestra conformidad para que sea presentada ante la Comisión de Doctorado, para ser autorizado su depósito.

La rama de conocimiento por la que esta tesis ha sido desarrollada es:

- ☐ Ciencias
- ☐ Ciencias Sociales y Jurídicas
- ☒ X Ingeniería y Arquitectura

En Cartagena, a 12 de Diciembre de 2013

LOS DIRECTORES DE LA TESIS



Fdo.: Antonio López Gómez; Fdo.: Alfredo Palop Gómez

COMISIÓN DE DOCTORADO



**CONFORMIDAD DE DEPÓSITO DE TESIS DOCTORAL
POR LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA**

D. Francisco Artés Hernández, Presidente de la Comisión Académica del Programa
Técnicas Avanzadas en Investigación y Desarrollo Agrario y Alimentario.

INFORMA:

Que la Tesis Doctoral titulada, “Optimización del diseño higiénico de los sistemas frigoríficos. Análisis del caso de los condensadores evaporativos”, ha sido realizada por D. Antonio Manuel Castaño Villar, bajo la dirección y supervisión de los Drs. Antonio López Gómez y Alfredo Palop Gómez.

En reunión de la Comisión Académica de fecha 05/12/2013, visto que la mencionada tesis doctoral tiene acreditados los indicios de calidad, requeridos para el depósito de tesis doctorales, regulados en el artículo 32 del Reglamento de Estudios Oficiales de Máster y Doctorado de la UPCT, y la autorización del Director de la misma, se acordó dar la conformidad para que a dicha tesis le sea autorizado, por la Comisión de Doctorado, su depósito.

La Rama de conocimiento por la que esta tesis ha sido desarrollada es:

- ☐ Ciencias
- ☐ Ciencias Sociales y Jurídicas
- ☒ Ingeniería y Arquitectura

En Cartagena, a 12 de diciembre de 2013

EL PRESIDENTE DE LA COMISIÓN ACADÉMICA DEL PROGRAMA

FRANCISCO DE
ASIS|ARTES|
HERNANDEZ

Firmado digitalmente por FRANCISCO DE
ASIS|ARTES|HERNANDEZ
Nombre de reconocimiento (DN):
cn=FRANCISCO DE ASIS|ARTES|
HERNANDEZ, serialNumber=[REDACTED]
givenName=FRANCISCO DE ASIS,
sn=ARTES HERNANDEZ, ou=Ciudadanos,
o=ACCV, c=ES
Fecha: 2013.12.12 18:41:33 +01'00'

Fdo: Dr. Francisco Artés Hernández

COMISIÓN DE DOCTORADO

Agradecimientos.

Quisiera, en primer lugar, agradecer sinceramente el apoyo y confianza depositada en mi persona por los doctores Antonio López Gómez y Alfredo Palop Gómez, directores de esta tesis, a quienes debo, además del ejemplo de un encomiable compromiso, el reconocimiento de su gran calidad humana y científica. Ellos han despertado en mi el amor por la investigación.

Tampoco puedo olvidar a todos aquellos profesores que durante mi formación en los estudios de Máster y Doctorado TAIDAA me han inculcado una formación académica y humana correcta, a ellos nunca los olvidaré.

A todos mis compañeros becarios del Departamento de Ingeniería de los Alimentos y del Equipamiento Agrícola, pero muy especialmente a Esther, Yulisa, Mari Ángeles, Fayiny, y May, por vuestra ayuda y afecto, os doy mil gracias.

Al resto de profesores y personal del Área de Tecnología de Alimentos en especial a Ana, y a Fermín.

A la empresa Refrigeración Industrial Zamora S.L. y a todas las otras que han colaborado para que esta tesis llegue a buen fin.

A mis padres, Antonio y Lucia y a mis hermanas Amalia y Luci, les agradezco su apoyo e interés, simplemente son los mejores, y sin ellos nunca habría llegado a esto.

A Paqui, con todo mi amor, por sus buenos consejos y cariño.

A las personas que no han sido mencionadas y que han colaborado de alguna manera a la realización de esta tesis.

A Paqui
A mis padres y hermanas

RESUMEN.

Los sistemas frigoríficos están presentes, en mayor o menor medida, en un amplio rango de campos tales como la producción y conservación de alimentos, la climatización de edificios, la industria química, la medicina o el transporte de mercancías perecederas. Una de las aplicaciones más habituales de estos sistemas es el acondicionamiento de aire que posteriormente es utilizado para fabricar y conservar alimentos (refrigerados o congelados), o para climatizar ambientes habitados, bien con fines industriales como en las salas de procesado y envasado, o bien con la finalidad de obtener un ambiente de confort como es el caso de los edificios de oficinas y comerciales.

Sin embargo, el aire que manejan estos sistemas puede ser un medio de transmisión de microorganismos perjudiciales para los productos fabricados y para las personas que se alimentan de esos productos o que respiran ese aire. Esto ocurre cuando, en los equipos, se dan las condiciones idóneas para su crecimiento y dispersión, es decir, cuando disponen de elementos nutritivos y otras condiciones adecuadas para su desarrollo.

En este sentido, la naturaleza del sistema de enfriamiento juega un papel preponderante en el riesgo de proliferación microbiológica y en su transferencia al ambiente, desde donde podrá, por ejemplo, contaminar alimentos o contagiar a las personas expuestas. Esto tiene como consecuencia directa una pérdida económica para la empresa y un problema de salud para las personas, que podrán sufrir manifestaciones de tipo alérgico, intoxicaciones alimentarias o, incluso, enfermedades infecciosas.

Uno de los problemas más graves es el de la transmisión de la legionelosis, que es causada por la bacteria *Legionella pneumophila*. Este bacilo, Gram negativo, está presente en el agua del medio natural desde donde coloniza las redes de abastecimiento, llegando así a las instalaciones frigoríficas que utilizan agua, caso de los condensadores evaporativos y las torres de refrigeración. Cuando en estos sistemas se dan las condiciones idóneas para su proliferación (pH, temperatura, presencia de materia orgánica, biofilms, etc.), el microorganismo puede llegar a alcanzar concentraciones infectivas y ser dispersado en el aire mediante los aerosoles que producen estos equipos. Este aire, al ser respirado por una persona podría causarle la enfermedad.

En el campo de la fabricación y transformación de alimentos es bien conocida la importancia de la higiene. Esta es una herramienta para obtener alimentos de calidad, que presenten unas condiciones idóneas de conservación al estar libres de contaminantes que los deterioren, y que además sean inocuos para la salud de consumidor al estar libres de patógenos que puedan causar un problema de salud. La primera medida para obtener estos productos seguros y saludables, comienza ya en la fase de diseño de los equipos de procesado y envasado. Así, será necesaria una concepción higiénica de los mismos, con la finalidad de limitar la contaminación microbiana, facilitar la limpieza y desinfección y mejorar el mantenimiento y conservación de estos equipos.

Dentro de los sistemas de limpieza y desinfección, destacan los sistemas de limpieza in situ, o sistemas CIP (*Cleaning in Place*). Estos tienen como principal característica que permiten la limpieza y desinfección de los equipos de procesado sin la necesidad de desmontarlos. Se trata de sistemas automáticos que consiguen un nivel óptimo de limpieza y desinfección al gestionar adecuadamente el agua, los productos químicos y la energía. Además conllevan como ventajas el ahorro en mano de obra y tiempo.

Todo lo anterior debe tenerse en consideración para conseguir que los equipos de enfriamiento evaporativo dejen de ser un riesgo para la salud humana y se utilicen más frecuentemente, ya que se trata de equipos que tienen ventajas energéticas, medioambientales y económicas. Estas ventajas están en consonancia con las nuevas demandas sociales de protección de la salud y del medio ambiente, así como de ahorro económico.

Por ello en esta Tesis se dan los detalles para la construcción de equipos evaporativos, como es el caso de los condensadores evaporativos, que cuenten con un diseño higiénico y con un sistema de limpieza CIP, lo que hará que dejen de ser una fuente de transmisión de legionelosis al poder limpiarse y desinfectarse eficazmente.

Para ello se han analizado los procedimientos actuales de limpieza y desinfección y su eficacia, y se han determinado los defectos de diseño higiénico de estos equipos, todo esto, a través de la encuesta e inspección de equipos en servicio y de análisis en laboratorio de las características físico-químicas y microbiológicas del agua

de enfriamiento. Se ha analizado la relación del diseño higiénico defectuoso con el problema de presencia en estos equipos de contaminación por *Legionella*. Las características físicas, químicas y microbiológicas del agua demostraron, al sobrepasar los niveles recomendados, que el agua de los condensadores evaporativos presenta una calidad pobre, haciendo de ellos unas instalaciones de alto riesgo en cuanto a su colonización por *Legionella* spp., propiciando el deterioro del equipo e incidiendo sobre la eficacia de la desinfección. Se ha demostrado que estos equipos, a pesar de estar muy controlados legalmente, son un riesgo para la salud por no contar con un diseño higiénico ni con un sistema de limpieza eficaz que pueda aplicarse frecuentemente.

También, se ha estudiado el tipo de suciedad a eliminar en estos equipos a través de los procedimientos de limpieza y desinfección, mediante la inspección de los mismos y análisis del agua y superficies internas. Esto ha permitido el diseño de un sistema automático de limpieza y desinfección del que se especifican sus características constructivas y que, acoplado al condensador, podrá aplicar un programa de lavado que limpie y desinfecte el equipo, eliminando la suciedad y los biofilms. Se especifican también los productos químicos a utilizar, los tiempos, y la forma de aplicación de los mismos.

Para determinar los requisitos de diseño higiénico de un condensador evaporativo, se ha estudiado y discutido el uso de distintos materiales en los componentes del condensador. Se ha hecho especial hincapié en la naturaleza del material, la rugosidad superficial y la resistencia a la corrosión, así como en su aptitud de cara a la limpieza. En base a lo anterior se ha encontrado que los materiales que se utilizan actualmente son inadecuados desde el punto de vista higiénico y se ha recomendado el uso del acero inoxidable y del PVC como materiales de construcción.

Se han determinado los detalles constructivos para conseguir un diseño higiénico en los condensadores evaporativos sin renunciar a su eficiencia energética, realizándose una descripción pormenorizada para cada componente, así como el diseño gráfico con ayuda de herramientas de diseño en 3D. Con este nuevo tipo de condensador se reduce el riesgo de que el equipo sea una fuente de contaminación del agua.

Por último se ha realizado la validación térmica e higiénica del equipo. Se ha construido una maqueta de laboratorio y un prototipo a escala real para la realización de

los ensayos. Se han probado distintos programas y productos de lavado en laboratorio. Se ha realizado un estudio de ensuciamiento y se ha comprobado la eficacia del sistema CIP para la eliminación de distintos tipos de suciedades.

Se han determinado las principales características energéticas de funcionamiento del prototipo de condensador evaporativo higiénico y automático, demostrando que tiene unas prestaciones tan buenas como los equipos convencionales. Se ha validado la limpiabilidad del mismo a través del estudio microbiológico del agua de recirculación, de las superficies internas y del aire movido por el equipo. Se han obtenido resultados satisfactorios que demuestran la eficacia del diseño higiénico y de los sistemas CIP para conseguir que los condensadores evaporativos dejen de ser un foco de proliferación y dispersión de *Legionella*.

SUMMARY.

Refrigeration systems are present in a wide range of fields such as food processing and preservation, comfort cooling, chemical industry, medicine or transport of perishable goods. One of the most common applications of these systems is the conditioning of the air to be used to process and store food (chilled or frozen) or for inhabited spaces or industrial premises such as the processing and packaging rooms, or in order to get a comfortable environment such as in office buildings and shopping centers.

However, the air flowing through these systems can be a means of transmission of harmful organisms in processed foods and for people eating these products or breathing that air. This may happen when the system shows proper conditions for microbial growth and dispersion, that is, when there are nutrients available and other appropriate conditions for microbial development.

In this regard, the type of cooling system plays an important role in the risk of microbiological growth and its transfer to the environment, from where they can, for example, contaminate food or spread to exposed persons. This directly results in an economic loss for the company and a health problem for people who may suffer allergic problems, food poisoning or even infectious diseases.

One of the most serious problems is the transmission of Legionnaires' disease, which is caused by the bacterium *Legionella pneumophila*. This, Gram negative microorganism, is present in Nature in water of different sources, from which it may colonize supply networks, reaching refrigeration systems that use water, such as evaporative condensers and cooling towers. When the conditions for its development (pH, temperature, presence of organic matter, biofilms, etc.) are given in these systems, the microorganism can reach infective levels and be dispersed in the environment by sprays produced by these equipments. When a person breathes such air, the disease can be developed.

The food industry is aware of the importance of hygiene. This is a tool to obtain high quality food, showing a good level of preservation since they are free of contaminants. They are also safe for the consumer, since they are free of pathogens that

can cause a health problem. The first step to get these safe and healthy products begins in the design stage of processing and packaging equipment. Hence, a hygienic design is necessary, in order to prevent microbial contamination, enable cleaning and disinfection and improve their maintenance and preservation.

Among the cleaning and disinfection systems, cleaning in place (CIP) systems are outstanding. The main feature of these systems is that cleaning and disinfection of processing equipment is possible without the need for disassembly. They are automatic systems that achieve an optimal level of cleaning and disinfection because of proper use of water, chemicals and energy. Other advantages are saving labour and time.

All this has to be kept in mind to ensure that evaporative cooling systems are not a risk to human health, so they could be more often used since they provide energy, environmental and economic benefits. These advantages are in line with new social requirements for health and environment protection, as well as cost savings.

Therefore, in this thesis, details for the construction of evaporative systems, such as evaporative condensers, having a hygienic design and provided with a CIP system, are given. These systems will not be a source of *Legionella* dissemination any more, because they can be disinfected and cleaned effectively.

To achieve this goal, current cleaning and disinfection methods, and their effectiveness have been analysed. Hygienic design defects of these systems have also been determined. These analyses have been carried out through survey and inspection of equipment in use and laboratory analysis of physico-chemical and microbiological characteristics of the cooling water. The relationship of poor hygienic design with the presence of *Legionella* in these equipments has also been analyzed. The physical, chemical and microbiological characteristics of water exceeded recommended levels, showing its poor quality, leading to system damage and affecting the effectiveness of disinfection. In spite of the strict control by inspection services, they are high risk facilities regarding colonization by *Legionella* spp. and, hence, a health risk because they do not have a hygienic design and effective cleaning system that can be applied frequently.

The type of fouling to be removed in these systems using cleaning and disinfection procedures has also been observed, by inspection and water and internal surfaces analyses. This observation has allowed the design of an automatic system for cleaning and disinfecting, coupled to the evaporative condenser, able to apply a CIP program, which removes dirt and biofilms. Construction characteristics, as well as chemical products used, time, and method of application, are specified.

In order to determine the requirements of hygienic design of an evaporative condenser, the use of different materials to build the components has also been analysed. Special emphasis has been paid to the type of material, surface roughness and corrosion resistance, as well as to its easiness to be cleaned. The materials currently used are inadequate from an hygienic viewpoint and the use of stainless steel and PVC as construction materials is recommended.

The construction details to achieve a hygienic design in evaporative condensers without losing energy efficiency have been set. A detailed description of each component, as well as a graphic design using 3D design tools has been provided. With this new design, the risk of water pollution is reduced.

Finally, the equipment has been assessed thermally and hygienically. A laboratory model and a full-scale prototype have been built to carry out the tests. Different programs and chemicals have been tried in the laboratory. A contamination trial has been performed, showing the effectiveness of the CIP system for the removal of different types of dirt.

The main energy characteristics of the full-scale prototype have been tested, showing performances as good as those of conventional systems. Its easiness to be cleaned has been evaluated through microbiological tests of the recirculating water, internal surfaces and air flowed by the system. Satisfactory results have been obtained, showing the effectiveness of the hygienic design and CIP systems, to achieve that evaporative condensers are no longer sources of proliferation and spread of *Legionella*.

	PÁGINA
INDICE GENERAL.	I
INDICE DE FIGURAS.	VII
INDICE DE TABLAS.	XII
INDICE DE FOTOGRAFÍAS.	XV
PARTE I. ANTECEDENTES.	
CAPITULO 1. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS.	
1.1. JUSTIFICACIÓN .	3
1.2. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS.	8
CAPITULO 2. INTRODUCCIÓN.	
2.1. CONTROL MICROBIANO EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN. CONTROL DE <i>LEGIONELLA</i> .	12
2.1.1 Limitaciones del uso de biocidas embebidos en materiales plásticos.	15
2.1.2. Diseño higiénico de condensadores evaporativos y torres de enfriamiento: otra manera de controlar la contaminación por <i>Legionella</i> .	17
2.2 CONTAMINACIÓN MICROBIANA Y DISEÑO HIGIÉNICO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE. CONTROL DE PATÓGENOS AMBIENTALES DISPERSADOS POR ESTOS EQUIPOS.	18
2.2.1. Diseño higiénico y control microbiano de los sistemas de acondicionamiento de aire de salas de procesado y envasado de alimentos y bebidas.	21
2.2.1.1. La contaminación del aire en salas de procesado de alimentos.	21
2.2.1.2. El problema del diseño en los sistemas HVAC.	25
2.2.1.3. Limpieza y diseño higiénico como medios de control microbiano del aire.	26
2.2.2. Control microbiano del aire mediante filtración.	29
2.2.2.1. Salas blancas y ambientes microbiológicamente controlados para el procesado y envasado de alimentos.	29

2.2.2.2. Estudio del caso: loncheado y envasado de productos cárnicos listos para el consumo.	31
2.2.2.2.1. Papel de la temperatura y la humedad relativa.	32
2.2.2.2.2. Influencia del personal que trabaja en las salas blancas.	33
2.2.2.2.3. Relación entre la contaminación del aire y la contaminación del alimento.	34
2.2.2.2.4. Influencia del tamaño de las partículas en el aire y su contaminación.	34
2.2.2.2.5. Uso de un ambiente controlado microbiológicamente (del inglés MCE) con aire filtrado localizado en un espacio reducido para líneas de procesado y envasado.	35
2.2.3. Control microbiano del aire mediante lámparas ultravioletas.	38
2.2.4. Control microbiano del aire mediante aceites esenciales (EOs).	39

PARTE II. MATERIAL Y MÉTODOS.

CAPITULO 3. MATERIALES Y MÉTODOS.

3.1. ESTUDIO DE LOS MÉTODOS DE LIMPIEZA, LAS CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO Y CONDICIONES DE OPERACIÓN DE CONDENSADORES EVAPORATIVOS EN SERVICIO.	43
3.2. DETERMINACIONES ANALÍTICAS. ANÁLISIS DE AGUAS DE CONDENSADORES EVAPORATIVOS.	44
3.2.1. Determinaciones físico-químicas.	44
3.2.2. Análisis microbiológicos.	45
3.3. DISEÑO DE NUEVOS EQUIPOS.	46
3.4. EVALUACIÓN TERMODINÁMICA Y DE LA LIMPIABILIDAD DE EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO. EVALUACIÓN EN PLANTA PILOTO Y EVALUACIÓN EN TALLER DE UN PROTOTIPO DE CEHA.	47
3.4.1. Características técnicas del prototipo de condensador evaporativo automático e higiénico.	47

3.4.2. Validación del comportamiento térmico, y de consumos de agua y energía.	50
3.4.3. Evaluación de la limpiabilidad en laboratorio.	54
3.4.3.1. Descripción del montaje de laboratorio (maqueta de condensador evaporativo).	55
3.4.3.2. Test de limpiabilidad.	56
3.4.3.2.1. Limpiabilidad del separador de gotas.	56
3.4.3.2.2. Limpiabilidad de los tubos de intercambio térmico.	57
3.4.3.2.3. Estudio del ensuciamiento natural del agua y de los tubos en la maqueta de condensador evaporativo.	58
3.4.3.2.3.1. Test de la eficacia de la desinfección.	60
3.4.3.2.3.2. Estudio de ambiente.	61
3.4.4. Test de limpiabilidad de un condensador evaporativo automático e higiénico.	62
3.4.4.1. Procedimiento de ensayo.	63

PARTE III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

CAPÍTULO 4. DETERMINACIÓN DE LOS DEFECTOS DE DISEÑO HIGIÉNICO DE LOS CONDENSADORES EVAPORATIVOS ACTUALES.

4.1. INTRODUCCIÓN.	68
4.2. ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS ACTUALES DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN.	68
4.3. ESTUDIO DE LA EFICACIA DE LOS PROCEDIMIENTOS ACTUALES DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN.	72
4.4. ANÁLISIS FÍSICO DEL DISEÑO HIGIÉNICO DE LOS CONDENSADORES EVAPORATIVOS ACTUALES.	82
4.4.1 Defectos de diseño higiénico de los componentes de los condensadores evaporativos.	83

4.4.1.1. Ventilador.	83
4.4.1.2. Separador de gotas.	85
4.4.1.3. Distribuidor de agua - Boquillas de rociado.	86
4.4.1.4. Paquete de tubos de intercambio de calor: tubos, soporte, colectores.	87
4.4.1.5. Carcasa de cerramiento: paredes, compuertas de revisión, soportes, arriostramientos.	88
4.4.1.6. Rejillas de entrada de aire.	90
4.4.1.7. Filtro, balsa y válvula de flotador.	92
4.4.1.8. Bandeja de recogida de agua.	93
4.4.1.9. Bomba de impulsión.	95
4.5. CONCLUSIONES.	97
 CAPÍTULO 5. DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN.	
5.1. INTRODUCCIÓN.	100
5.2. DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SUCIEDAD A ELIMINAR.	101
5.3. DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO CIP Y DEL PROGRAMA DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN QUÍMICA.	106
5.4. CONCLUSIONES.	112
 CAPÍTULO 6. ANÁLISIS DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN CONDENSADORES EVAPORATIVOS Y SU PROBLEMÁTICA FRENTE AL CONTROL DE <i>Legionella pneumophila</i>.	
6.1. INTRODUCCIÓN.	114
6.2. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS DE LOS COMPONENTES DE LOS CONDENSADORES EVAPORATIVOS Y SU PROBLEMÁTICA.	115

6.2.1. Carcasa.	115
6.2.2. Tubos de intercambio de calor.	117
6.2.3. Separador de gotas.	118
6.2.4. Bandeja de recogida de agua.	118
6.2.5. Sistema de distribución de agua.	119
6.2.6. Sistema de circulación de aire.	120
6.3. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.	120
6.4. CONCLUSIONES.	129

CAPÍTULO 7. DISEÑO DE UN NUEVO CONDENSADOR EVAPORATIVO, QUE INCORPORA TODAS LAS MEJORAS POSIBLES DE DISEÑO HIGIÉNICO, Y QUE LLEVA ACOPLADO UN SISTEMA AUTOMÁTICO DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN.

7.1. INTRODUCCIÓN.	131
7.2. RECOMENDACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO HIGIÉNICO DE EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO.DESCRIPCIÓN DEL CONDENSADOR EVAPORATIVO AUTOMÁTICO E HIGIÉNICO.	133
7.3. DESCRIPCIÓN DEL CONDENSADOR EVAPORATIVO AUTOMÁTICO E HIGIÉNICO.	134
7.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PAQUETE DE INTERCAMBIO DE CALOR.	136
7.3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN DE GOTAS DE AGUA.	137
7.3.3. DESCRIPCIÓN DE LA Balsa inferior y del cerramiento.	138
7.3.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN.	139
7.3.5. DESCRIPCIÓN A DEL SISTEMA DE BOMBEO Y ROCIADO DE AGUA.	140
7.3.6. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE TUBERÍAS Y BOQUILLAS DE DISTRIBUCIÓN DE SOLUCIONES DE LAVADO Y DESINFECCIÓN.	141
7.4. CONCLUSIONES.	143

CAPÍTULO 8. VALIDACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO E HIGIÉNICO DEL NUEVO CONDENSADOR EVAPORATIVO.

8.1. INTRODUCCIÓN.	145
---------------------------	------------

8.2. VALIDACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO.	147
8.2.1. Resultados de los ensayos de consumos de agua y energía.	147
8.3. VALIDACIÓN DEL DISEÑO HIGIÉNICO Y DE LA EFICACIA DEL SISTEMA DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN.	154
8.3.1. Evaluación de la limpiabilidad en laboratorio.	154
8.3.1.1. Limpiabilidad del separador de gotas.	155
8.3.1.2. Limpiabilidad de los tubos de intercambio térmico.	157
8.3.2. Estudio de la limpiabilidad en maqueta a escala de planta piloto.	160
8.3.3. Evaluación microbiológica en laboratorio.	164
8.3.3.1. Estudio de la carga microbiana del agua de enfriamiento.	164
8.3.3.2. Estudio de la carga microbiana de las superficies.	165
8.3.3.3. Estudio de la carga microbiana del ambiente.	167
8.3.4. Test de limpiabilidad de un condensador evaporativo automático e higiénico.	170
8.3.4.1. Estudio de la carga microbiana del agua de enfriamiento.	174
8.3.4.2. Estudio de la carga microbiana de las superficies.	174
8.3.4.3. Estudio de la carga microbiana del ambiente.	177
8.4. CONCLUSIONES.	179
PARTE IV. CONCLUSIONES GENERALES Y BIBLIOGRAFÍA.	
CAPITULO 9. CONCLUSIONES.	182
CAPITULO 10. BIBLIOGRAFÍA.	188
ANEXO I. Estadillos de toma de datos para encuestas e inspecciones.	
ANEXO II. Resultados del estudio de los sistemas de limpieza y desinfección.	
ANEXO III. Etapas, secuencias y esquemas del sistema CIP.	
ANEXO IV. Plano descriptivo de los componentes del condensador evaporativo.	
PUBLICACIONES.	

Índice de Figuras

Figura 2.1. Variación del coeficiente de correlación (r^2) según el tamaño de las partículas (μm) y los recuentos microbianos (UFC/m^3) en una sala blanca convencional (Sanchez et al., 2007).....	35
Figura 3.1. Esquema de la maqueta de condensador evaporativo, y bancada que se han construido para ensayos de laboratorio.....	55
Figura 4.1. Evolución del pH del agua de la balsa de los condensadores. (Media de los valores; las barras de error representan la desviación estándar). Las líneas de trazos discontinuos son los límites de los valores permisibles.....	72
Figura 4.2. Evolución del nivel de cloro residual libre presente en el agua de enfriamiento. (Media de los valores; las barras de error representan la desviación estándar). Las líneas de trazos discontinuos son los límites de los valores permisibles..	73
Figura 4.3. Conductividad eléctrica en la balsa de los condensadores. (Media de los valores; las barras de error representan la desviación estándar). Las líneas de trazos discontinuos son los límites de los valores permisibles.....	74
Figura 4.4. Residuo seco obtenido en el agua de cada condensador durante el estudio. (Media de los valores; las barras de error representan la desviación estándar). Las líneas de trazos discontinuos son los límites de los valores permisibles.....	76
Figura 4.5. Dureza del agua recogida en la balsa de los condensadores. (Media de los valores; las barras de error representan la desviación estándar). Las líneas de trazos discontinuos son los límites de los valores permisibles.....	77

Figura 4.6. Cantidad de Cloruros presente en el agua de los condensadores. (Media de los valores; las barras de error representan la desviación estándar). Las líneas de trazos discontinuos son los límites de los valores permisibles.....	77
Figura 4.7. Turbidez en el agua de los condensadores. (Se presentan las medias de los valores observados, con las barras de error correspondientes).....	79
Figura 4.8. Carbono Orgánico Total en el agua de los condensadores. (Se presentan las medias de los valores medidos, con las barras de error correspondientes).....	80
Figura 4.9. Evolución del número de microorganismos aerobios en el agua de los condensadores. (Se presentan las medias de los valores observados, con las barras de error correspondientes. La línea de trazos discontinuos representa el límite legal establecido).....	81
Figura 4.10. Soluciones de diseño higiénico para el encuentro entre superficies. (1) Zona en contacto con el agua del condensador (Rosset, 2002).....	90
Figura 4.11. Solución de diseño higiénico para el encuentro de superficies entre 3 planos.....	95
Figura 4.12. Solución de diseño higiénico para el encuentro de superficies entre 3 planos.....	95
Figura 4.13. Montaje para conseguir un buen drenado de la bomba.....	96
Figura 6.1. Colonización de microorganismos distintos a <i>Legionella pneumophila</i> en materiales constructivos, en función de la edad del biofilm. Log UFC no <i>Legionella</i> x cm ⁻² / días. El vidrio es usado como control (Rogers et al., 1994).....	123
Figura 6.2. Colonización por <i>Legionella pneumophila</i> de materiales constructivos. Log UFC <i>Legionella pneumophila</i> x cm ² / días. El vidrio es usado como control.....	123

Figura 6.3. Fotografías al microscopio electrónico de biofilms en superficies de distintos materiales tras 24 h en un cultivo quimioestático. A: látex, B: etileno propileno, C: PVC clorado, D: PVC no plastificado, E: acero inoxidable, F acero al carbono (Rogers et al., 1994).....	125
Figura 6.4. Fotografías al microscopio electrónico de barrido de PVC 200x (arriba a la izquierda), PRFV 200x (arriba a la derecha), PRFV 2000x (abajo a la izquierda), PRFV 3500x (abajo a la derecha).....	127
Figura 7.1. Soluciones de diseño higiénico de los elementos de fijación en zonas internas del equipo (EHEDG, 1996).....	134
Figura 7.2. Medios de fijación para zonas del equipo en las que no hay un contacto directo con agua de proceso (Rosset, 2002).....	134
Figura 7.3. Diseño exterior de un condensador evaporativo automático e higiénico con unidad CIP acoplada.....	136
Figura 7.4. Dos baterías de tubos aplastados, separadas para permitir intercalar un sistema de limpieza CIP.....	137
Figura 7.5. Red de tuberías del sistema de limpieza y desinfección, sistema de rociado de agua, paquete de tubos de intercambio de calor y separador de gotas, con diseño higiénico.....	138
Figura 7.6. Ejemplo simplificado de diseño de bandeja inferior de recogida de agua de enfriamiento que permite el vaciado total del equipo. Los encuentros tienen que ser redondeados.....	139
Figura 7.7. Vista interior de un condensador evaporativo con diseño higiénico.....	140
Figura 7.8. Vista exterior del sistema de distribución de agua.....	141
Figura 7.9. Esquema de distribución de las tuberías y boquillas de limpieza y desinfección.....	143

Figura 8.1. Evolución de la temperatura de descarga del R-22, a la entrada del prototipo de condensador evaporativo. En el primer tramo, $T_d = 94,0^{\circ}\text{C}$, mientras que en el segundo $T_d = 89,7^{\circ}\text{C}$	150
Figura 8.2. Evolución de la temperatura de condensación del R-22, a la salida del prototipo de condensador evaporativo. En el primer tramo, $T_c = 39,0^{\circ}\text{C}$, mientras que en el segundo $T_c = 36,7^{\circ}\text{C}$	150
Figura 8.3. Evolución de la temperatura de entrada del aire al prototipo de condensador evaporativo.....	151
Figura 8.4. Evolución de la Humedad Relativa (HR, en %) de entrada del aire al prototipo de condensador evaporativo.....	151
Figura 8.5. Evolución de la temperatura de salida del aire del prototipo de condensador evaporativo.....	152
Figura 8.6. Evolución de la HR de salida del aire del prototipo de condensador evaporativo.....	152
Figura 8.7. Evolución de la velocidad del aire a la entrada de los ventiladores del prototipo de condensador evaporativo.....	153
Figura 8.8. Relación $(\text{CO}_3)^{2+}/\text{Cl}^-$ en el agua a lo largo del estudio (ppm/ppm).....	160
Figura 8.9. Evolución de la conductividad eléctrica del agua y del pH.....	161
Figura 8.10. Evolución de la población de microorganismos aerobios totales durante el estudio.....	165
Figura 8.11. Esquema del montaje interior de boquillas de lavado. Sectores de limpieza - simulación del alcance y distribución del agua de limpieza y desinfección.....	171
Figura 8.12. Contaminación de AMT en las superficies internas antes (rojo) y después (azul) de aplicar la limpieza y desinfección CIP.....	176

Figura 8.13. Histograma de frecuencias de los intervalos de contaminación microbiana, en los puntos de muestreo, antes y después de desinfectar con el sistema CIP.....	177
---	-----

Índice de Tablas

Tabla 2.1. Media (Med.), máximo (Max.) y mínimo (Min.) Valores de parámetros físicos obtenidos en CCR.....	33
Tabla 2.2 Variación de la clase de sala blanca (de acuerdo con las normas ISO y FS 209E) en función de las personas que trabajan en la sala.....	33
Tabla 2.3. Valores medio, máximo y mínimo de UFC/m ³ en una sala blanca convencional.....	34
Tabla 2.4. Recuentos microbianos en productos cárnicos cocidos trabajando en una sala blanca tradicional (TCR) y en ambiente controlado clase ISO 5 con unidades de filtración localizadas (FFU covers) (Sanchez et al., 2007b).	36
Tabla 2.5. Relación entre el recuento microbiano del producto envasado y la vida útil (indicada por un recuento microbiano final mayor de > 6 log ufc/g) para jamón cocido de cerdo y carne de pavo cocida loncheados y envasados trabajando en una sala blanca tradicional (TCR) y en ambiente controlado clase ISO 5 con unidades de filtración localizadas (FFU covers). (Sanchez et al., 2007b).....	37
Tabla 3.1. Relación de condensadores evaporativos muestreados.....	43
Tabla 3.2. Programa de limpieza y desinfección.....	64
Tabla 5.1. Programa de limpieza y desinfección.....	111

Tabla 6.1. Lixiviado de carbono orgánico en materiales en contacto con el agua durante 3 días (Rogers et al., 1994).....	122
Tabla 6.2. Comparación de materiales termoplásticos con materiales convencionales en lo referente a algunas características técnicas de limpieza.....	128
Tabla 8.1. Condiciones de estado estacionario que alcanzaba la instalación, cuando el compresor funcionaba a potencia cercana a la máxima y a potencia reducida, respecto de la máxima.....	148
Tabla 8.2 Programa de limpieza alcalino.....	155
Tabla 8.3. Programa de limpieza ácido.....	156
Tabla 8.4. Programa de limpieza con ácido nítrico.....	158
Tabla 8.5. Programa de limpieza con detergente nítrico comercial.....	158
Tabla 8.6. Programa de limpieza con detergente fosfórico comercial.....	159
Tabla 8.7. Programa de limpieza con ácido nítrico.....	164
Tabla 8.8. Resultados del muestreo de superficies.*Una placa de contacto sólo recoge el 0,1% de la flora de las superficies (Scharlab).....	166
Tabla 8.9 Resultados del muestreo de ambiente. * Corrección de los valores según la fórmula de Féller (1950).....	168
Tabla 8.10. Número medio de partículas muestreadas, en el exterior del edificio, cerca del separador de gotas (SG) y en la planta piloto (PP) a unos 11 metros del SG.....	169

Tabla 8.11. Recuentos de aerobios mesófilos totales en el agua de recirculación antes (prelavado) y después (aclarado) de someter el equipo al programa de limpieza y desinfección.....174

Tabla 8.12. Resultados del muestreo de superficies. *Una placa de contacto sólo recoge el 0,1% de la flora de las superficies (Scharlab, Sentmenat, España).....175

Tabla 8.13. Resultados del recuento de microorganismos aerobios mesófilos totales en el ambiente. * Corrección de los valores según la fórmula de Féller (1950).....177

Tabla 8.14. Número medio de partículas por tamaños, presente en el ambiente durante la realización del test de limpiabilidad.....178

Índice de Fotografías

Foto 3.1. Cabina de seguridad biológica y equipo de toma de muestras.....	46
Foto 3.2. Vista general del prototipo construido de condensador evaporativo higiénico y automático, con la unidad CIP acoplada.....	48
Foto 3.3. Detalle de las compuertas laterales de salida del aire del condensador prototipo.....	49
Foto 3.4. Detalle del diseño higiénico interior, de la zona inferior o balsa, del condensador y de los encuentros entre paredes y fondo (balsa inferior).....	49
Foto 3.5. El prototipo de condensador evaporativo se ha acoplado a una instalación frigorífica de enfriamiento de aire, con un compresor de 50 CV (36,8 kW) de potencia eléctrica.....	51
Foto 3.6. Anemómetro e higrómetro conectados a la entrada de cada uno de los dos ventiladores del prototipo de condensador evaporativo.....	52
Foto 3.7. Sondas de temperatura del fluido frigorífico (R-22) conectadas a la entrada y salida del prototipo de condensador evaporativo.....	52
Foto 3.8. Cuadro eléctrico del prototipo de condensador evaporativo.....	52
Foto 3.9. Sonda del caudalímetro de ultrasonidos (marca Controlotrom) conectado a la tubería de salida del condensado (del fluido frigorífico R-22), en la salida del prototipo de condensador evaporativo.....	53
Foto 3.10. Instalación del caudalímetro de ultrasonidos (marca Controlotrom) en la tubería de salida del condensado (del fluido frigorífico R-22), en la salida del prototipo de condensador evaporativo.....	53

Foto 3.11. Analizador portátil de energía para sistemas eléctricos trifásicos, conectado al grupo de enfriamiento de aire, con compresor de 50 kW.....	53
Foto 3.12. Analizador portátil de energía para sistemas eléctricos trifásicos, conectado al grupo de enfriamiento de aire, con compresor de 50 CV.....	54
Foto 3.13. Grupo electrógeno de 200 kVA, instalado para hacer los ensayos de comportamiento térmico del prototipo de condensador evaporativo.....	54
Foto 3.14. Aplicación manual de suciedad orgánica sobre el separador de gotas.....	57
Foto 3.15. Aplicación manual de una suciedad modelo.....	57
Foto 3.16. Productos de limpieza utilizados. De izquierda a derecha: ácido nítrico concentrado, detergente nítrico, detergente fosfórico espumante.....	58
Foto 3.17. Maqueta construida para el ensayo en laboratorio.....	58
Foto 3.18. Disposición de las boquillas de distribución de agua sobre los tubos calefactados.....	59
Foto 3.19. Placas de contacto RODAC utilizadas durante las pruebas.....	61
Foto 3.20. Muestreador “MER MAS-100” y algunas de las placas utilizadas.....	62
Foto 3.21. Contador óptico de partículas portátil MET ONE.....	62
Foto 4.1. Limpieza manual de los separadores de gotas.....	69
Foto 4.2. Equipo de dosificación del desinfectante y productos anticorrosivos.....	70
Foto 4.3. Conexión del sistema de desinfección al condensador.....	70
Foto 4.4. Tableta para desinfección de piscinas, aplicada a uno de los condensadores evaporativos encuestados.....	41
Foto 4.5. Ventilador axial de condensador evaporativo.....	84
Foto 4.6. Tornillos salientes en la zona de alojamiento del ventilador axial.....	84
Foto 4.7. Zona de alojamiento de un ventilador centrífugo con detalles de diseño no higiénico.....	85

Foto 4.8. Separador de gotas tipo lamas, con zonas difíciles de limpiar.....	85
Foto 4.9. Separador de gotas tipo malla.....	86
Foto 4.10. Detalle del soporte del distribuidor de agua.....	86
Foto 4.11. Perfiles soporte del distribuidor de agua y boquillas.....	87
Foto 4.12. Incrustaciones y corrosión del paquete de tubos de intercambio de calor entre el agua + aire y el gas de fluido frigorígeno.....	88
Foto 4.13. Defectos de diseño higiénico en la batería de tubos.....	88
Foto 4.14. Colección de defectos de diseño en la carcasa de un condensador evaporativo.	89
Foto 4.15. Soporte y arriostramientos de la carcasa.....	90
Foto 4.16. Rejillas de entrada de aire con un diseño que dificulta la entrada de luz y materias extrañas.....	91
Foto 4.17. Rejilla de entrada de aire que no cumple con un diseño higiénico.....	91
Foto 4.18. Fangos y algas en un condensador evaporativo en servicio.....	92
Foto 4.19. Válvula de flotador.....	92
Foto 4.20. Filtro y válvula de flotador.....	93
Foto 4.21. Defectos de diseño higiénico de la bandeja o balsa inferior de recogida de agua.....	94
Foto 4.22. Bandeja de recogida de agua sin encuentros redondeados.....	94
Foto 4.23. Bomba centrífuga con un mal diseño higiénico.....	96
Foto 4.24. Bomba centrífuga montada para facilitar su vaciado.....	96
Foto 5.1. Incrustaciones en uno de los tubos de intercambio de calor del condensador.....	102

Foto 5.2. Fotografía de un tubo de la batería de intercambio de calor 15 días después de la limpieza y desinfección obligatoria. R.D. 865/2003.....	103
Foto 5.3. Batería de tubos y superficies internas con muestras de fuerte corrosión generalizada.....	103
Foto 5.4. Suciedad en la bandeja de recogida de agua en un condensador evaporativo.....	104
Foto 5.5. Arriba izquierda: placas de agar GVPC con distintos tipos de colonias, entre ellas las típicas de <i>Legionella</i> . Arriba derecha: micelio de un hongo creciendo sobre filtro de nitrocelulosa. Abajo izquierda: microalgas (diatomeas) vistas al microscopio de contraste de fases x800 sobre agar agar. Abajo derecha: amebas vistas al microscopio de contraste de fases x400 sobre agar agar.....	106
Foto 5.6. Cuadro eléctrico y de control con autómata industrial (PLC) marca SIEMENS en un prototipo de condensador evaporativo higiénico y automático.....	109
Foto 5.7. Detalles de un sistema CIP acoplado a un condensador evaporativo automático e higiénico.....	110
Foto 6.1. Condensador evaporativo con carcasa metálica.....	116
Foto 6.2. Materiales plásticos ensuciados en el interior de un condensador de PRFV, sometido a tratamiento preventivo con biocida.....	116
Foto 6.3. Intercambiadores de calor de un condensador evaporativo. Placas y tubos..	116
Foto 6.4. Tubos de un condensador con incrustaciones salinas.....	117
Foto 6.5. Separadores de gotas.....	118
Foto 6.6. Válvula de flotador de un condensador evaporativo en servicio.....	119
Foto 6.7. Filtro del agua en la entrada de la tubería de aspiración de la bomba de recirculación.....	119
Foto 6.8. Sistema de distribución de agua fuera y dentro del condensador.....	119

Foto 6.9. Ventiladores axiales.....	120
Foto 6.10. Paquete de intercambio de calor con signos de corrosión e incrustaciones.....	126
Foto 8.1. Disposición del separador de gotas y las boquillas de aplicación de las soluciones de lavado.....	155
Foto 8.2. Imágenes del separador de gotas antes (izquierda) y después (derecha) de limpiarlo con un programa de limpieza alcalino.....	156
Foto 8.3. Imágenes del separador de gotas antes (arriba) y después (abajo) de limpiarlo con un programa de limpieza ácido.....	157
Foto 8.4. Tubos con suciedad inorgánica seca antes de la limpieza (izquierda). Estado de limpieza de los tubos después de aplicar el programa de limpieza ácida (derecha).....	158
Foto 8.5. Tubos antes (izquierda) y después (derecha) de efectuar la limpieza con detergente nítrico.....	159
Foto 8.6. Tubos después de la limpieza con ácido fosfórico.....	159
Foto 8.7. Costra de cal y corrosión en la superficie de los tubos (Foto del Autor de la Tesis).....	161
Foto 8.8. Incrustaciones a los 5 días de empezar el ensayo: separador de gotas (arriba izquierda), racor de conexión (arriba derecha), tubo de acero inoxidable a la lupa binocular (abajo a la izquierda) y depósitos de cal adheridos al suelo de la maqueta evaporativa.....	162
Foto 8.9. Detalle de la superfice de los tubos de la maqueta después de 15 días de ensuciamiento.....	163
Foto 8.10. Estado de los tubos y el racord después de la limpieza ácida.....	164
Foto 8.11. Prototipo de Condensador Evaporativo Automático e Higiénico.....	170

Foto 8.12. Tanque de formulación y productos concentrados a dosificar.....	171
Foto 8.13. Detalle de las boquillas (spray balls) de limpieza del CIP del CEAH.....	172
Foto 8.14. Foto del separador de gotas antes (izquierda) y después (derecha) de la limpieza y desinfección.....	172
Foto 8.15. Vista lateral del estado de la superficie de la batería de intercambio térmico antes (izquierda) y después (derecha) de la limpieza y desinfección.....	173
Foto 8.16. Aspecto de las superficies internas de la parte inferior del condensador evaporativo, antes (izquierda) y después (derecha) de la limpieza y desinfección.....	173

PARTE I

ANTECEDENTES

CAPÍTULO 1

Justificación y Objetivos

1.1 JUSTIFICACIÓN.

Se sabe que el aire ambiente en locales de industrias y edificios habitados debe tener una determinada calidad (en cuanto a temperatura, humedad, recuento de partículas y microorganismos, y otros contaminantes) y se ha renovar adecuadamente con aire fresco para cumplir con unos requerimientos establecidos de confort y de salud de las personas que respiran ese aire. Además, para la elaboración de alimentos en general es necesario también imponer controles de calidad del aire para reducir la posibilidad de contaminación de los mismos. Por ejemplo, la calidad del aire de proceso que entra en contacto con un alimento debe ser controlada adecuadamente, sobre todo en sistemas de procesado y envasado ultralimpio y aséptico. Por ello, se hace necesario el uso de adecuados sistemas de filtración del aire que controlen su calidad (EHEDG, 2006).

No obstante, poco se ha hablado hasta ahora sobre la necesidad del diseño higiénico de distintas partes de los sistemas frigoríficos (sobre todo de las torres de enfriamiento y condensadores evaporativos) y de los propios sistemas de acondicionamiento de aire. Este es un aspecto que necesita tenerse en cuenta para poder disfrutar de un aire que tenga una verdadera calidad microbiológica. Porque diseño higiénico significa que los equipos han de tener un diseño que permita su fácil y eficaz limpieza y desinfección. Si un equipo frigorífico o de acondicionamiento de aire, por donde circule aire y/o agua, no tiene un adecuado diseño higiénico y mantenimiento, se tiene una probabilidad relativamente alta de proliferación microbiana en sus superficies y de contaminación microbiológica del aire que pasa por ellas, y de desarrollo microbiano no deseado en los productos y en las personas que toquen o respiren este aire (EHEDG, 2006; Devos et al., 2005; López-Gómez, 2007; Moens, 2002).

Por lo anterior, en esta Tesis se realiza un análisis detallado de la necesidad de incorporar los criterios de diseño higiénico en las torres de enfriamiento y condensadores evaporativos de los sistemas de climatización y refrigeración utilizados en los edificios, ya se trate de edificios industriales, centros comerciales o edificios residenciales. Este nuevo diseño ayudará a resolver el problema de la proliferación y dispersión de la *Legionella* por parte de los mismos.

Legionella es una bacteria que se encuentra ampliamente difundida en el medio acuático natural. La mayoría de sus especies no son virulentas, sin embargo, *Legionella pneumophila* y alguna otra especie del género *Legionella* causan la legionelosis, que es una enfermedad que puede presentarse en dos formas clínicas diferenciadas: la infección pulmonar o “Enfermedad del Legionario”, caracterizada por neumonía con fiebre alta, y la forma no neumónica, conocida como “Fiebre de Pontiac”, que se manifiesta como un síndrome febril agudo y de pronóstico leve.

La enfermedad del legionario se identificó por primera vez en 1976 cuando, en una convención de la legión americana, en Filadelfia (EE.UU.) enfermaron 221 asistentes y murieron 34. Según publica *American Society for Microbiology News* del 15 al 30% de los pacientes que ingresan en las unidades de cuidados intensivos con neumonía, tienen legionelosis (Anónimo, 1995). Se trata pues, de una enfermedad muy grave con una tasa de mortalidad del 15-20% en países desarrollados como EE.UU. pero que afortunadamente sólo infecta al 2-5% de quienes se exponen a la bacteria. Además gracias a la mejora de las técnicas de detección, en España, la tasa de mortalidad ha pasado del 50-60% de los primeros brotes hasta el 2-5% de los brotes actuales.

La *Legionella* se encuentra en los ríos, lagos, embalses y aguas subterráneas, aunque normalmente en recuentos muy bajos. Desde esta fuente natural pasa a las tuberías de agua, y de aquí a los edificios de viviendas, oficinas, hoteles, hospitales, centros comerciales, industrias, fuentes, etc., donde puede proliferar si las condiciones son adecuadas. Este es el caso de las torres de enfriamiento y los condensadores evaporativos. El microorganismo no se multiplica a temperaturas inferiores a 20°C, pero sí en el rango 20 – 50°C, y no sobrevive a temperaturas superiores a 70°C, siendo su temperatura óptima de crecimiento de 35 a 37°C. Además la bacteria necesita determinados nutrientes para multiplicarse, siendo fuente de esos nutrientes el agua sucia donde también proliferan las algas, las amebas, los protozoos y otras bacterias. Por ello, la presencia de sedimentos, lodos, cal, y otros materiales, junto con los biofilms y una temperatura adecuada, juegan un importante papel en su protección y proporcionan las condiciones favorables para su crecimiento. Algo que se da inevitablemente en equipos que no cuentan con un diseño higiénico y tienen un

mantenimiento inadecuado. Además, si los equipos tienen un mecanismo que genera aerosoles, la bacteria puede dispersarse al aire atmosférico, que es el caso de los condensadores evaporativos y torres de refrigeración.

Según distintos autores (Bentham, 2000; Devos et al., 2005) durante el manejo de un sistema de refrigeración, la situación que comporta más peligro es la que se tiene cuando se detiene la instalación frigorífica o de acondicionamiento de aire durante días festivos, por ejemplo, y después se pone en marcha sin hacer ningún tipo de limpieza y desinfección previa, lo que provoca una gran emisión de aerosol al aire ambiente exterior, con una gran carga contaminante. Esto se hace a pesar de que la legislación vigente (en España se tiene una legislación que está entre las más completas y estrictas de la Unión Europea: R.D. 865/2003 junto con diversos Decretos autonómicos que lo amplían) indica que hay que limpiar y desinfectar estos componentes antes de poner en marcha la instalación frigorífica después de haber estado parada durante un tiempo. Se pone de manifiesto que esta legislación no se cumple porque la limpieza de la torre de enfriamiento hay que hacerla de forma manual, cada vez.

Además, es conveniente que los equipos evaporativos de las instalaciones frigoríficas sean resistentes a la corrosión que puede provocar el uso de biocidas clorados (en concentraciones elevadas), pero la realidad que se tiene es que las instalaciones por no estar preparadas para la desinfección estricta están sufriendo una corrosión muy elevada. Esto favorece la generación de huecos donde se forman biofilms que protegen a esta bacteria frente a los desinfectantes.

En definitiva, en el diseño de los condensadores evaporativos actuales y torres de refrigeración, que se encuentran en el mercado, se han descuidado claramente los aspectos de diseño higiénico. Esto ha llevado a que sean unas instalaciones de alto riesgo de proliferación y dispersión de la bacteria *Legionella*, y como consecuencia a un desuso progresivo a pesar de su buen comportamiento energético.

El enfriamiento evaporativo usado en las torres de refrigeración y en los condensadores evaporativos tiene varias ventajas económicas y medioambientales. Estas se resumen en un menor consumo de energía en comparación con sus principales competidores los condensadores enfriados por aire, y que se puede cifrar en un

porcentaje de hasta el 34% de la energía requerida para su funcionamiento lo que además reduce las emisiones de CO₂ a la atmósfera. Por otro lado suponen una reducción del consumo de agua del 95% con respecto a los equipos enfriados por agua. Todo esto, por supuesto, además se traduce en un ahorro económico. Por ejemplo, estos equipos pueden llegar a representar para el sistema productivo español un ahorro en el consumo de energía eléctrica de 25.000 euros anuales por instalación, conclusión a la que ha llegado la Asociación Española del Frío y sus Tecnologías, AEFYT tras comparar las torres de refrigeración de agua y condensadores evaporativos con otros equipos alternativos.

Su utilización permite el desarrollo del proceso de refrigeración eficiente, capaz de ahorrar energía, en la medida que sólo consumen agua y la reducida energía requerida por los ventiladores utilizados para mover el aire. Estos sistemas permiten, además, la reducción de la contaminación vinculada a su producción y generan una menor dependencia de fuentes limitadas.

Por ello, las torres de enfriamiento y condensadores evaporativos ofrecen una combinación de uso de energía y coste de instalación idónea para obtener una óptima relación inversión/rendimiento frente a otras soluciones.

Sin embargo, a pesar de las bondades descritas, según datos de la Consejería de Sanidad y Consumo de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia en sus memorias anuales de actividad, desde el año 2002, primero en el que se realiza, según prescripción normativa, el censo de regional de instalaciones con alto riesgo de proliferación de *Legionella pneumophila* (condensadores evaporativos y torres de refrigeración), hasta el año 2011, el número de estos equipos en nuestra región se ha mantenido constante, unos 640, mientras que el número de empresas que utilizan los mismos ha disminuido en un 31.3%. Esto implica que algunas o todas de las nuevas edificaciones, comerciales e industriales construidas en Murcia desde 2002 hasta el año 2011 están utilizando otros equipos distintos a los de enfriamiento evaporativo en sus sistemas de refrigeración, equipos que como se sabe, tienen un mayor costo energético.

Esta disminución del número de empresas que utilizan los equipos evaporativos se debe a la dificultad que hay para evitar la proliferación y dispersión de *Legionella* en

los mismos a pesar de su enorme ventaja energética. Siendo por tanto muy interesante y más aún en tiempos de crisis económica, encontrar una solución que compatibilice la eficiencia energética con la prevención medioambiental ya que de lo contrario las empresas están perdiendo competitividad.

Por todo lo anterior sería interesante conseguir unos nuevos equipos modernos y seguros. Esta es la principal motivación de esta Tesis: resolver el problema de la inseguridad sanitaria que provoca el uso de los condensadores evaporativos actuales con un diseño totalmente defectuoso desde el punto de vista higiénico.

Así, se plantea el desarrollo de un condensador evaporativo con un adecuado diseño higiénico que permita la incorporación de un sistema automático de limpieza CIP (*cleaning in place*, limpieza sin desmontar) y desinfección, que actúe de forma programada, y con la frecuencia adecuada, para que se garanticen unas buenas condiciones de higiene, y poder garantizar un control seguro de la contaminación de *Legionella*, ya que también se tendría un control automático y monitorizado de los tratamientos de desinfección. El acoplamiento de este sistema de control automático en estos condensadores es factible porque la mayoría de las nuevas instalaciones frigoríficas de tamaño medio-grande ya tienen control por PLC (controlador lógico programable), que se adaptaría fácilmente para poder controlar también las operaciones de limpieza y desinfección. Este tipo de condensador evaporativo, bien controlado, y bien diseñado desde el punto de vista higiénico, permitirá garantizar la seguridad de que no se produzcan los problemas de descontrol de la *Legionella*, al mismo tiempo que se tiene una buena eficiencia energética.

1.2. OBJETIVOS GENERALES Y ESPECÍFICOS.

Los objetivos generales de esta tesis son:

Estudiar en profundidad los métodos de limpieza y desinfección y el diseño de los condensadores evaporativos actuales.

Proponer y evaluar un nuevo tipo de equipo, mejorado con un diseño higiénico, y con un sistema CIP de limpieza in situ automático, sin necesidad de desmontar, que permitirá descartar la contaminación por *Legionella*.

Para ello, se plantean los siguientes objetivos técnicos específicos:

1. Determinación de los defectos de diseño higiénico de los condensadores evaporativos actuales.

El estudio se centrará en el análisis de los procedimientos actuales de limpieza y desinfección, que se utilizan en los condensadores evaporativos, con servicio a instalaciones de aire acondicionado e instalaciones industriales. Se determinará la eficacia de estos sistemas de limpieza y desinfección actuales y se determinará el diseño higiénico de todos los componentes del condensador evaporativo. Se estudiarán las boquillas de rociado de agua, la balsa inferior de agua, las paredes, el techo, las rejillas de aireación, los paquetes de tubos, el separador de gotas, etc.

La demostración de la baja eficacia de los sistemas actuales de limpieza y desinfección de los condensadores evaporativos, y la demostración de la relación de su ineficacia con la falta de diseño higiénico y la no disponibilidad de sistemas automáticos de realización de estas funciones, permitirá apoyar de forma sólida el interés del nuevo tipo de condensador evaporativo que se pretende desarrollar en esta Tesis.

2. Desarrollo de un sistema automático de limpieza y desinfección de condensadores evaporativos.

Actualmente, la limpieza de estos condensadores se realiza manualmente y es una de las razones graves de que no se limpie con la frecuencia debida y de que exista un alto riesgo de proliferación de la *Legionella*. Los sistemas de limpieza automática se identifican técnicamente como sistemas CIP (limpieza sin desmontar y sin actuación de personas en la realización de la operación de limpieza), y están muy desarrollados en la industria alimentaria. El sistema de desinfección automática sería de tipo químico, consistiendo en la aplicación automática y continua de desinfectante en el agua del condensador una vez limpio el equipo. En esta Tesis se plantea la adaptación de estos conceptos al condensador evaporativo que se pretende desarrollar. Se determinarán las especificaciones técnicas de cada uno de los componentes del sistema automático de limpieza y desinfección.

3. Determinación de los materiales a utilizar para mejorar el diseño higiénico en los distintos componentes del condensador evaporativo.

Se pretende mejorar el acabado de superficie y la resistencia a la corrosión de todas las partes del condensador evaporativo en contacto con el agua para que la suciedad se adhiera menos y sea más fácil su eliminación, lo que favorecerá la desinfección posterior.

Por ello, se estudiarán y determinarán los materiales más adecuados para cada componente desde el punto de vista del diseño higiénico, teniendo en cuenta las posibilidades de reducción de costes por el uso de estos materiales. Sobre todo, para la construcción de los componentes críticos desde el punto de vista de facilidad de limpieza y desinfección, y consecución de una adecuada eficacia en la realización de estas funciones.

4. Diseño de un nuevo condensador evaporativo, cumpliendo las normas del EHEDG (Grupo Europeo de Ingeniería y Diseño Higiénico), que incorpore todas las mejoras posibles desde el punto de vista del diseño higiénico, y que lleve acoplado un sistema automático de limpieza y desinfección.

Se pretende obtener un diseño absolutamente higiénico que incorpore los criterios de diseño higiénico de los equipos de procesado de alimentos, de acuerdo con

las guías de diseño higiénico del EHEDG. Estas mejoras permiten que los equipos de procesamiento de alimentos se puedan limpiar y desinfectar de una forma eficaz y automáticamente. Por tanto, se plantea una directa adaptación de estos principios de diseño higiénico de los equipos de procesamiento de alimentos a los condensadores evaporativos existentes para obtener un nuevo diseño adecuadamente adaptado desde el punto de vista de diseño higiénico.

Este diseño higiénico debe ser absolutamente compatible, como lo es en los equipos de procesamiento de alimentos, con un buen comportamiento desde el punto de vista térmico, del condensador evaporativo. Tendrá un comportamiento térmico similar al de los condensadores evaporativos existentes en el mercado. Se plantea rediseñar el paquete de tubos del condensador evaporativo para que se cumplan escrupulosamente los criterios de diseño higiénico, y para que se consiga un comportamiento térmico óptimo. Se plantea el análisis de distintas soluciones de paquete de tubos existentes en el mercado que se podrían incorporar a la solución global del condensador que se quiere obtener.

5. Validación del comportamiento térmico e higiénico del nuevo condensador evaporativo.

5.1 Validación del comportamiento térmico. Se realizará un análisis del comportamiento térmico sobre un prototipo construido. Se determinarán los coeficientes globales de intercambio de calor, la cantidad de agua evaporada, la potencia térmica desarrollada, y el consumo energético, entre otros parámetros.

5.2 Validación del diseño higiénico y de la eficacia del sistema de limpieza y desinfección. Se realizará un análisis del comportamiento del sistema CIP, validando los programas automáticos de limpieza y desinfección, y validando la capacidad del condensador para limpiarse y desinfectarse completamente.

CAPÍTULO 2

Introducción

Parte del texto de este Capítulo ha sido publicado en el trabajo:

- López-gómez A, Castaño-villar AM, Palop-gómez A, Marín-iniesta F (2013) Hygienic design and microbial control in refrigeration systems of food processing plants. *Food Engineering Reviews*, 5:18–35.

2. INTRODUCCIÓN.

2.1. CONTROL MICROBIANO EN SISTEMAS DE REFRIGERACIÓN. CONTROL DE *LEGIONELLA*.

Los datos de vigilancia epidemiológica desde 1990 hasta 2005 indican que los casos de legionelosis se han incrementado dramáticamente en los últimos años, lo que subraya la importancia de la comprensión de esta enfermedad y sus fuentes ambientales (Neil y Berkelman, 2008). Los nichos ecológicos de *Legionella* son los ríos y lagos, aunque por lo general en los recuentos muy bajos. Las aguas estancadas y sucias favorecen la proliferación de este microorganismo, algo que es relativamente frecuente en los equipos de enfriamiento evaporativo. Por ello, la contaminación por *Legionella* de las torres de refrigeración industrial ha sido identificado como la causa de los casos esporádicos y brotes de legionelosis en personas que viven cerca (Carducci et al., 2010).

La *Legionella* es un bacilo Gram-negativo aeróbico con uno o más flagelos polares o laterales. Este microorganismo crece a temperaturas entre 20 y 50 ° C, y no sobrevive a temperaturas mayores que 60 °C (Stout et al., 1985). La presencia de sedimentos, lodo, cal y otros materiales, así como biofilms, desempeña un papel importante en la protección y proporciona las condiciones favorables para el crecimiento de este microorganismo (Murga et al., 2001). Tales biofilms pueden proteger el microorganismo de la desinfección (Fujii y Yoshida, 1998). Además, también se ha informado de la selección de cepas resistentes por la desinfección repetida (Verde, 1993). Sin embargo, en estos ambientes, *Legionella* spp, también están sometidas a la depredación por protozoos y, por tanto, han contrarrestado este hecho desarrollando la capacidad de parasitar y residir dentro de por lo menos 20 especies de amebas, 2 especies de protozoos ciliados y una especie de moho de fango (Lau y Ashbolt, 2009). Rowbotham (1980) fue el primero en describir la capacidad de *L. pneumophila* para multiplicarse intracelularmente dentro de protozoos y sugirió más tarde que las amebas de vida libre podrían ser un reservorio para especies de *Legionella* (Rowbotham, 1986). Dado que las amebas son habitantes comunes de los ambientes acuáticos naturales y de los sistemas de agua (Kurtz et al., 1982; Rohr et al., 1998) y ya que se ha encontrado que son resistentes a temperaturas extremas, pH, y salinidad (Rodríguez-Zaragoza, 1994), este resorvorio es importante.

Además, puede haber una necesidad de crecimiento intracelular dentro de los protozoos para seleccionar, proteger y mantener patógenos como *Legionella* spp., en el medio ambiente (Lau y Ashbolt, 2009).

La enfermedad del legionario es un tipo severo de infección causada por la inhalación de la bacteria *Legionella pneumophila* o de otras especies de *Legionella*. Actualmente, hay más de 50 especies con 70 serogrupos distintos en el género *Legionella*, siendo *L. pneumophila* serogrupo 1 la especie más virulenta del género, y responsable de aprox. 70% de todos los casos de la enfermedad del legionario en los Estados Unidos y Europa (Yu et al., 2002). Las personas mayores, personas inmuno-deprimidas o personas que sufren una enfermedad crónica grave son más susceptibles de ser infectados.

La enfermedad del legionario se adquiere a través del sistema respiratorio, mediante la inhalación de aire que contiene *Legionella* en un aerosol, formado, por ejemplo, de pequeñas gotas de agua que se generan con la pulverización de agua, o cuando se burbujea aire en el agua, o con los impactos de agua sobre una superficie sólida (Stout y Yu, 1997). Cuantas más pequeñas son las gotas de agua con *Legionella* que contiene el aerosol, más peligrosas son al facilitar esto su transporte por las corrientes de aire y su entrada en los pulmones. Por esa razón, los refrigeradores evaporativos (torres de refrigeración y condensadores evaporativos) son posibles orígenes de esta enfermedad (Mouchtouri et al., 2010). Los humanos se infectan no sólo por la inhalación de *Legionella* libre, si no también por la inhalación de vesículas o amebas que contengan *Legionella* (Rowbotham, 1980). Estas vesículas llenas de *Legionella* pueden contener hasta 10^4 bacterias (Rowbotham, 1986). La transmisión de persona a persona es poco probable (Fraser et al., 1977). Sin embargo, se están identificando cada vez más casos de legionelosis a partir de la exposición directa al agua potable (Yoder et al., 2008).

Por su parte, la fiebre de Pontiac, la segunda forma clínica diferenciada de la legionelosis, fue descrita por primera vez en 1968 a raíz de una epidemia con 144 casos en un edificio del condado de Pontiac, Michigan. Se registró como una enfermedad respiratoria aguda que afectó a los empleados y visitantes del edificio (Edelstein y Meyer, 1994). Ambas enfermedades pueden ser producidas por la misma especie. Las

condiciones bajo las cuales un individuo desarrolla la enfermedad del legionario o bien la fiebre de Pontiac no se entienden completamente, pero pueden depender del estado de salud del individuo, el grado de exposición al organismo, y/o la virulencia de la cepa específica (Brooks et al., 2004). Hasta la fecha, los estudios sobre casos y brotes esporádicos, llevados a cabo principalmente en ambientes interiores (por ejemplo, hospitales y hoteles) indican que el riesgo de enfermar es significativo cuando la concentración de *Legionella* en el agua desde la que se produce el aerosol supera 10^3 - 10^4 UFC/L (Rota et al., 2004).

Para lograr una efectiva descontaminación de *Legionella* spp. en entornos industriales, deben escogerse desinfectantes eficaces y estrategias de desinfección de acuerdo con el contexto específico. Los desinfectantes deben ser distribuidos de manera específica, teniendo en cuenta las posibles fuentes de contaminación, así como su potencial de corrosión del sistema (Carducci et al., 2010). Diferentes innovaciones para el control de la *Legionella* se basan principalmente en el uso de productos químicos antimicrobianos adsorbidos en el material de construcción del relleno, como se describe, por ejemplo, en la patente de Kienboeck y Podhorsky (2004).

A día de hoy, a pesar de que el estado Español (gobierno central y autonomías) tiene publicadas distintas normas legislativas que pretenden poner freno al problema de la *Legionella*, y de que además, los fabricantes de equipos de riesgo y sus asociaciones, las autoridades públicas, e instituciones nacionales e internacionales, intentan ayudar a solucionar el problema con la publicación de manuales, guías y directrices sobre el mantenimiento y manejo de estos sistemas, así como de los programas de control realizados por las distintas autoridades sanitarias, los condensadores evaporativos y las torres de refrigeración siguen siendo el foco de nuevos brotes de *Legionella*. Con el problema añadido de ser los equipos que mayor número de casos de Legionelosis generan cuando hay un brote.

El problema es que las torres de refrigeración y condensadores evaporativos son equipos que sufren un ensuciamiento constante. La continua recirculación de agua de pobre calidad sobre unos materiales que son fácilmente atacados por ésta, y la exposición a la contaminación externa del ambiente que rodea al equipo y que aporta materias orgánicas e inorgánicas que ensucian el interior, hacen de la torre un

dispositivo con alto riesgo de contaminación por microorganismos. En particular, uno de los componentes más problemáticos para su limpieza es el relleno por el que discurre el agua a enfriar dentro de las torres de enfriamiento actuales. Este relleno no tiene un diseño higiénico adecuado, y esto dificulta enormemente la limpieza y propicia la formación de incrustaciones y biofilms o capas de microorganismos donde puede refugiarse la *Legionella*.

Las innovaciones propuestas para el control de la *Legionella* existentes en el mercado se basan principalmente en el uso de antimicrobianos embebidos en el material de construcción del relleno de la torre de refrigeración (Markarian, 2006), pero que acaban por desaparecer en relativamente poco tiempo, quedando desprotegida frente a la colonización por parte de las bacterias. Además, este uso de agentes activos en el relleno, que no es totalmente efectivo, puede promover el desarrollo de cepas bacterianas resistentes a los biocidas.

Por otro lado, la simple idea (como la desarrollada en la patente de Clodic et al., 2005) de hacer pasar el agua en la torre de enfriamiento a través de un relleno sin producir aerosoles puede reducir bastante la probabilidad de emisión de *Legionella* al exterior, pero también es cierto que no evita la aparición y crecimiento del patógeno, el cual seguirá presente mientras la suciedad persista en estas instalaciones y más aún si el relleno no presenta un diseño higiénico, convirtiéndose así en un nicho ecológico perfecto para el desarrollo microbiano. Por ello, en cualquier momento se puede producir el accidente de emisión al exterior de este patógeno, aunque sea con una probabilidad baja. En efecto, los separadores de gotas, en torres de enfriamiento y condensadores evaporativos, incluso los denominados como de alta eficacia, no eliminan todas las gotitas, en particular las más pequeñas, de tamaño $< 10 \mu\text{m}$, que son las que constituyen de forma significativa el aerosol. Estos tamaños de gotas son los que pueden arrastrar y diseminar la *Legionella* (Moens, 2002).

2.1.1. Limitaciones del uso de biocidas embebidos en materiales plásticos.

Según Markarian (2006) el consumo global de biocidas formulados para plásticos era de 15,4 millones de kg en 2005, de los que un tercio se localizaba en Europa, y otro tercio en Norteamérica. El PVC consumía dos terceras partes de estos

biocidas formulados, para prevenir el crecimiento microbiano a partir de los plastificantes orgánicos presentes en las formulaciones del PVC.

Los biocidas inorgánicos utilizados para este fin son fundamentalmente iones de plata, aunque se pueden utilizar otros metales, como el cobre y el cinc. El ión metálico, el ingrediente activo, se contiene en una matriz inerte, de la que se va desprendiendo según una velocidad controlada, lentamente, desde la superficie expuesta del plástico para proporcionar una protección a largo plazo. En EEUU, el uso de antimicrobianos de plata está creciendo en los conductos y filtros de sistemas HVAC (calefacción, ventilación, y acondicionamiento de aire). El uso de este tipo de antimicrobianos en los aparatos electrodomésticos, particularmente en los frigoríficos, ha ido creciendo en los últimos años. Un estudio del Instituto de Higiene y Salud Pública de la Universidad de Bonn ha demostrado que las superficies internas del frigorífico que son tratadas con antimicrobianos de plata reducen significativamente los niveles de *Listeria*. Siete de los nueve mayores fabricantes de frigoríficos en Europa, ya han incorporado este tipo de antimicrobianos en el interior de sus frigoríficos. Los fabricantes asiáticos también están utilizando estos antimicrobianos en sus frigoríficos, y los fabricantes norteamericanos están ya evaluando su incorporación. Las aplicaciones en contacto con el agua, como enfriadores de agua, sistemas de fabricación de hielo, filtros, válvulas, tuberías, y accesorios, presentan de este modo un alto potencial de crecimiento. Se prevé un fuerte crecimiento en la aplicación de estos antimicrobianos porque la gente acepta rápidamente la idea de que no sólo se ha de conseguir una superficie más fácil de limpiar, sino también que se mantenga más tiempo limpia. Se usa a veces una combinación de iones de plata y cobre. Mientras que la plata previene el crecimiento de las bacterias, el cobre previene el crecimiento de mohos, en aplicaciones como los sistemas HVAC (Marcarían, 2006).

El problema que podemos tener en el uso de estos biocidas en los conductos por ejemplo es pensar que ya estamos a salvo de la contaminación del aire por patógenos. Esto no es así, por lo que se ha comentado anteriormente. Se ha de limpiar bien, para poder tener seguridad microbiana. Para eso, se ha de tener un diseño higiénico adecuado en los conductos y en todos los componentes por donde pase el aire que va a acondicionarse antes de entrar en contacto con las personas y los procesos donde se tiene necesidad de un adecuado nivel de higiene, o limpieza del aire.

Este tipo de productos, tal como se ha indicado anteriormente, se aplica también en los rellenos de PVC de torres de enfriamiento, pero no terminan de resolver el problema de la presencia de *Legionella* en estos equipos porque lo grave de estos equipos es su falta de diseño higiénico. Como no se pueden limpiar sufren una acumulación progresiva de la suciedad sobre estas superficies, de forma que las capas más externas de suciedad no se verían afectadas por estos biocidas.

2.1.2. Diseño higiénico de condensadores evaporativos y torres de enfriamiento: otra manera de controlar la contaminación por *Legionella*.

Cada vez que se han de limpiar las torres de enfriamiento y los condensadores evaporativos se han de desmontar sus componentes, y esto se tiene que hacer con las instalaciones frigoríficas desconectadas, ya que se tiene que sacar el relleno y los separadores de gotas, y ha de acceder personal de limpieza al interior y a la parte superior del equipo. Esta limpieza no se suele hacer ni bien ni con la debida frecuencia por esta razón de tenerla que hacer a mano, y porque estos equipos no tienen un diseño higiénico correcto en ninguno de sus componentes, que permita una buena y fácil limpieza.

La consecuencia es que no se controlan adecuadamente los recuentos microbianos y se tiene una probabilidad relativamente alta de que se produzcan aerosoles contaminados con *Legionella pneumophila*.

Así, las deficiencias en el diseño higiénico de estos equipos evaporativos son probablemente una de las causas principales de la proliferación microbiana, en general, y de la *Legionella*, en particular, en el agua y en las superficies internas del equipo, ya que dificultan enormemente las tareas de limpieza y desinfección.

Por lo tanto una manera sencilla de impedir la contaminación por *Legionella* es actuar a nivel del diseño de los equipos. Esta idea ya se aplica en diversas industrias para luchar contra la contaminación microbiana pero hasta la fecha no se ha incidido lo suficiente en el diseño del sistema como un método de lucha contra la bacteria. Por ejemplo en la industria alimentaria mediante el diseño higiénico se pretende prevenir la contaminación del producto y favorecer la fácil limpieza y desinfección de los equipos.

Este tipo de diseño se refiere a los criterios de construcción y geometría, tipos de materiales y acabados de superficies entre otros. Los beneficios a largo plazo de utilizar equipos con un diseño higiénico son, no sólo la seguridad del producto, sino también el potencial para aumentar las expectativas de duración del equipo, reducir el mantenimiento y, en consecuencia, reducir los costes operativos (EHEDG, 2004).

Así, es conveniente que los equipos de enfriamiento evaporativo de las instalaciones frigoríficas sean resistentes a la corrosión que puede provocar el uso de biocidas clorados (en concentraciones elevadas), pero la realidad que se tiene es que las instalaciones por no estar preparadas para la desinfección estricta están sufriendo una corrosión muy elevada. Esto favorece la generación de huecos y grietas donde se forman biofilms que protegen a esta bacteria frente a los desinfectantes.

Para solucionar los problemas de la corrosión, incrustaciones, suciedad, y contaminación microbiana de las torres de enfriamiento y condensadores evaporativos se ha de desarrollar un nuevo diseño para equipos evaporativos que además de contar con un diseño higiénico en cada uno de sus componentes, incorpore un sistema que permita realizar la limpieza y la desinfección de forma automática implicando el uso de un autómata programable (PLC). Esta limpieza se debe realizar con una frecuencia adecuada, sin desmontar los componentes, y llegando a todos los lugares necesarios para evitar un crecimiento microbiano que pueda ser peligroso.

2.2. CONTAMINACIÓN MICROBIANA Y DISEÑO HIGIÉNICO DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE AIRE. CONTROL DE PATÓGENOS AMBIENTALES DISPERSADOS POR ESTOS EQUIPOS.

Las fuentes de contaminación en el aire de los edificios son fundamentalmente los materiales de construcción del propio edificio y salas, y los componentes del sistema de ventilación. De diversos estudios, se concluye que desde el punto de vista de la percepción de la calidad del aire (olores y sensaciones), las principales fuentes potenciales de polución del aire en los sistemas de calefacción y aire acondicionado (HVAC) son los filtros, los conductos de distribución de aire, las baterías de tubos de calentamiento / enfriamiento del aire, y los humidificadores (Muhič y Butala 2004; Möritz et al., 2004; Maus et al., 2001). En la literatura científica que ha estudiado la

higiene de los conductos de distribución del aire, se pone de manifiesto que el polvo y microorganismos (hongos y bacterias) se concentran sobre todo en la superficie del fondo de estos conductos, que será la fuente principal de concentración de partículas en el aire, microorganismos, TVOC (Total Volatile Organic Compounds) y olores desagradables. Normalmente, el polvo de los filtros y de los conductos está compuesto de partículas de origen diverso, como partículas biológicas (polen y microorganismos), partículas del suelo, sales inorgánicas, partículas de procesos de combustión (producción de energía y tráfico) (Hytinen et al., 2007). En edificios de oficinas, la superficie interior de los conductos supone el 10% de la superficie total construida. Debido a la falta de limpieza, ya que trabajan durante mucho tiempo sin descanso (o de forma intermitente, con arranques y paradas), las capas de polvo que se forman en el fondo de los conductos pueden promover la supervivencia y el crecimiento de microorganismos, que desprenderán productos metabólicos, esporas, e incluso células viables, en el aire que va finalmente a ser respirado, causando problemas de malos olores y de salud a las personas ocupantes del edificio (Muhič y Butala 2004; Hytinen et al., 2007; Robine et al., 2005). En efecto, numerosas partículas biológicas del aire, y sus componentes, endotoxinas bacterianas y micotoxinas, se encuentran en el aire de edificios y de las industrias alimentarias. La supervivencia y el desarrollo de estos biocontaminantes en el aire están parcialmente ligados con la colonización microbiana de las superficies de los materiales (Rosmaninho et al., 2007; Muhič y Butala 2004; Robine et al., 2002).

Hasta el momento, las baterías aleteadas de calentamiento / enfriamiento del aire no han sido consideradas como una fuente principal de contaminación del aire de los sistemas HVAC. Sin embargo, sí se han identificado a los equipos humidificadores como causa del desarrollo y la diseminación de microorganismos. En estos equipos, el uso de biocidas no garantiza un nivel suficiente de higiene. Se han propuesto tratamientos con peróxido de hidrógeno y el uso de la radiación UV, pero el uso de este tipo de radiación no garantiza que el agua esté libre de gérmenes (Bluyssen et al., 2003).

En todos los casos, el comportamiento frente al ensuciamiento es afectado por el material de superficie, aunque en diferente manera según sea el propio ensuciamiento o depósito de suciedad o según sea la limpieza. Además, existen superficies que promueven menos depósitos de tipo no-microbiano, y son más fáciles de limpiar. Otros

materiales promueven menos adhesión y formación de biofilms microbianos (Rosmaninho et al., 2007).

En condiciones de aire exterior con humedad relativa baja ($<80\%$) y temperatura relativamente alta ($>12^{\circ}\text{C}$), se consigue una marcada reducción de la concentración de microorganismos en el aire (se disminuye un 70% las bacterias, y un 80% los mohos). Sin embargo, durante largos periodos de humedad relativa alta ($>80\%$), se produce una proliferación de bacterias en los filtros de aire, que pasan al aire filtrado, porque tienen normalmente un tamaño inferior a $1.1\text{ }\mu\text{m}$, y, por tanto, aparecen en el aire respirable. Por ello, se propone limitar la humedad relativa del aire a la entrada de los filtros, en el 80%, por ejemplo, utilizando precalentadores antes de los sistemas HVAC (Möritz et al., 2004; Maus et al., 2001).

La contaminación de los edificios lleva consigo problemas de deterioro de los materiales y estructuras, y a un considerable riesgo para la salud, ya que pueden desarrollarse alergias e infecciones, por respiración de esporas, fragmentos de micelios, o de partículas de materiales contaminados, o polvo. Esta contaminación está relacionada con la superficie del edificio o de sus instalaciones que ya está contaminada, con excesiva presencia de mohos y de humedad (Robine et al., 2005).

El acero galvanizado o el inoxidable, el cobre y sus aleaciones y el aluminio son metales empleados para la realización de conductos para distribución de aire, aunque el primero es el más usual. Generalmente, el material empleado en el recubrimiento de estos conductos es la lana de vidrio que puede colocarse por el exterior en forma de mantas ligeras con lámina exterior impermeable al vapor de agua, actuando generalmente como aislante térmico, o también puede aplicarse por el interior del conducto en forma de fieltro reforzado con velo de vidrio y película plástica protectora y actúa principalmente como absorbente acústico (Isover, 2007).

Por todo lo anterior, es importante que el sistema, el conjunto de sus componentes, sea diseñado y construido correctamente para facilitar las operaciones de mantenimiento y desinfección. En particular, los conductos deben tener suficientes puertas y portillas de acceso colocadas correctamente para facilitar la limpieza, la desinfección, y los tests de verificación de higiene. La higiene del sistema será controlada por la limpieza regular (y desinfección) de sus componentes, de forma

apropiada para prevenir, sobre todo, la acumulación de polvo. Después de la instalación, y antes de poner en marcha el sistema, se ha de hacer una limpieza y desinfección. También, los trabajos constructivos deben realizarse de forma que se evite contaminar el sistema con polvo (EHEDG, 2006; IDAE, 2007).

2.2.1. Diseño higiénico y control microbiano de los sistemas de acondicionamiento de aire de salas de procesado y envasado de alimentos y bebidas.

2.2.1.1. La contaminación del aire en salas de procesado de alimentos.

La calidad del aire interior es un factor muy importante tanto para la calidad e inocuidad de los productos de una industria alimentaria como para la salud de las personas que trabajan en las plantas de procesado y por lo tanto debe ser tomada en consideración en el diseño de cualquier industria. Este aire será portador de contaminantes físicos como el polvo y otras partículas inertes, pero también de otros incluso más peligrosos como los contaminantes químicos y biológicos. Ello se debe a que en los sistemas de climatización se pueden dar las condiciones idóneas para el crecimiento y dispersión de los microorganismos o agentes biológicos.

Por ello en la fabricación de los productos alimentarios es necesario controlar la calidad del aire de las salas de procesado, envasado y almacenado, y muy especialmente el que entra en contacto con los alimentos no envasados. De esta manera se evitarán importantes pérdidas económicas por el deterioro y la devolución de grandes partidas de producto y se producirán alimentos inocuos, de calidad y de vida útil extendida.

Patógenos tales como *Escherichia coli* (Whyte et al., 2001), *Salmonella* (Mc Deirmid y Lever, 1996; Pearce et al., 2006; Zottola et al., 1970) y *Listeria* (Spurlock y Zottola, 1991) tienen la capacidad para sobrevivir y desplazarse en el aire y la facultad de contaminar los alimentos.

Todos estos patógenos aerotransportados implican un gran riesgo de causar enfermedades transmitidas por los alimentos (Mothershaw y Al Raisi, 2008).

Byrne et al., (2008) encontraron recuentos elevados de microorganismos viables totales (133 UFC/m³) y presencia de coliformes fecales (8 UFC/m³) y *Staphylococcus*

aureus (8 UFC/m³) al estudiar la contaminación microbiana del aire durante el procesamiento de carne de cerdo en una planta de fabricación de hamburguesas. Estos contaminantes se encontraron en todas las zonas de producción de la planta aún cuando estaban físicamente separadas.

Asimismo, los recuentos microbianos en el aire de una sala convencional (sala clase 100.000) según un estudio de Taboada et al., (2007) llegaron a 1990 UFC/m³ en una línea de loncheado y envasado de productos cárnicos, siendo el valor medio de los recuentos de 223 UFC/m³.

Otro estudio en mataderos de vacuno irlandeses de Prendergast et al., (2004) ratificó que el aire es un vector potencial de la contaminación bacteriana y demostró la necesidad de la segregación física de las zonas sucias y limpias y de que los sistemas de circulación de aire sean diseñados y hechos funcionar para dirigir la corriente de aire desde las zonas limpias hacia las zonas sucias. Además un diseño del matadero con el flujo de producto en línea recta y en una sola planta, junto con unos medios eficaces de separación de las zonas sucias y limpias se mostró como el mejor sistema para la reducción de las bacterias del aire.

En el caso de la industria enológica, Ocón et al., (2011) detectaron una alta presencia de mohos de los géneros *Aspergillus* spp. y *Penicillium* spp. en las áreas donde se almacenan barricas y vinos embotellados de una bodega. Este hecho podría ser un factor de riesgo con respecto al gusto a corcho en el vino. Según estos autores el diseño y disposición de los espacios de una bodega, se considera un factor importante que influye en la colonización del ambiente por parte de algunos mohos.

Asimismo los trabajos de Carrasco et al., (2012) y Buncic y Sofos (2012) confirman que el aire es un medio de recontaminación y contaminación cruzada por *Salmonella* spp. en plantas de procesamiento de alimentos (como chocolate y productos cárnicos), incluso durante la refrigeración a bajas temperaturas. Esto se debe a la presencia de polvo contaminado y a las gotas de agua cuando las canales se pulverizan durante la refrigeración o en el lavado.

No hay que olvidar que también puede producirse una recontaminación del alimento después del procesado, una vez que los microorganismos del producto ya han sido inactivados, por ejemplo durante el envasado de los alimentos.

Este hecho es muy importante ya que en la práctica, la recontaminación por agentes patógenos es una causa frecuente de brotes de enfermedades transmitidas por los alimentos. En el caso de la recontaminación aérea, se han atribuido brotes causados por alimentos recontaminados por patógenos transmitidos por el aire en diversos productos tales como leche pasteurizada, preparados en polvo para lactantes, cereales para el desayuno, salchichas o mantequilla (Reij y Den Aantrekker, 2004).

Así, el deterioro más importante de la leche pasteurizada se debe a la recontaminación con bacterias gram negativas psicrotróficas después del tratamiento térmico (Fredsted et al., 1996). Aunque los niveles de bacterias psicrotróficas en el aire son en general bajos, sólo se necesita una célula viable por envase para estropear el producto.

Esta recontaminación ocurre durante el proceso de llenado cuando es un proceso abierto que permite que la leche entre en contacto con el aire circundante, y con sus aerosoles.

Otro problema causado por el aire contaminado en la máquina de llenado de leche UHT, es la presencia del hongo *Fusarium oxysporum* en el interior de los envases, el cual hace que la leche tenga un sabor similar al del queso azul. Una vez que el hongo ha contaminado una máquina de llenado, es difícil de eliminar (Tamime, 2009). También en las plantas de procesado de leche, después de un tratamiento UHT, las dos fuentes de contaminación del producto más importantes son las juntas aguas abajo del homogeneizador y el suministro de aire de la unidad de envasado aséptico (Tamime, 2009).

Sin embargo, la influencia de los microorganismos en el aire sobre el deterioro microbiológico de la leche es de menor importancia, si las instalaciones están bien diseñadas y mantenidas, y se han tomado medidas internas de higiene (Fredsted et al., 1996).

Además de la posible contaminación de los alimentos, hay que tener en cuenta que el aire de los sistemas de climatización será respirado por las personas que habitan la planta y por tanto debe estar correctamente controlado ya que puede contribuir a la transmisión de patógenos aerotransportados.

Por ejemplo, las unidades de tratamiento de aire interior pueden causar enfermedades por la contaminación fúngica aerotransportada.

Los hongos crecen en los filtros de aire, aislamientos, y serpentines de refrigeración que condensan la humedad del aire, así como en los conductos de distribución. Esta contaminación a menudo contribuye a la transmisión de enfermedades infecciosas y enfermedades de hipersensibilidad, tales como rinitis alérgica, asma y neumonitis (pulmonía) por hipersensibilidad (Burge, 1990). Además, la intoxicación aguda y el cáncer han sido atribuidos a la exposición respiratoria a las micotoxinas (Croft et al., 1986).

En definitiva, la contaminación fúngica de las unidades de tratamiento de aire es un fenómeno con una amplia difusión en los edificios climatizados y una fuente potencial de contaminación de los espacios ocupados (Ahearn et al., 1997).

Otros microorganismos como *Legionella pneumophila* y *Mycobacterium tuberculosis* son bacterias altamente infecciosas y que pueden ser transportadas a través de aerosoles. La pulverización de agua contaminada en humidificadores de equipos de enfriamiento evaporativo del sistema de climatización es otra manera de diseminar la infección mediante vía aérea. En este proceso, el papel del sistema HVAC es muy importante ya que los aerosoles contaminados pueden ser fácilmente distribuidos por todo el edificio por el sistema de climatización (Anil 2008), que es lo que ocurre habitualmente cuando los pacientes de hospitales enferman de legionelosis.

La conclusión de todo lo anterior es que para garantizar la seguridad alimentaria, la calidad de los alimentos, y la salud de las personas que habitan los edificios, la fuente de contaminación (los sistemas de climatización y el aire) debe ser limitada y controlada durante el procesado, envasado y almacenamiento del producto.

Para ello no solamente es necesario vigilar la temperatura y humedad, que son dos parámetros clásicos que se controlan con los equipos de acondicionamiento de aire en las industrias, si no que también habrá que utilizar otras técnicas de protección más complejas como son la filtración del aire y las salas blancas y otras. Con ellas, el grado y velocidad de eliminación de los contaminantes puede ser ajustado de acuerdo a los riesgos aceptables por el producto.

2.2.1.2. El problema del diseño en los sistemas HVAC.

Los diferentes métodos para el control de la calidad del aire se centran fundamentalmente en resolver el problema una vez el aire ya está provisto de los distintos tipos de contaminantes y, sin embargo, hay pocos métodos estudiados y desarrollados que intenten evitar previamente que los sistemas de climatización (sus componentes) contaminen el aire, a pesar de que esto es un problema conocido.

Según una comunicación de Keener y Williams (2008), las plantas de procesamiento de alimentos deben utilizar unas prácticas operacionales adecuadas, que garanticen alimentos seguros y saludables, produciendo alimentos de manera eficiente y económicamente sostenible. Además, para mantener unas condiciones sanitarias adecuadas durante el procesamiento de alimentos y minimizar la contaminación potencial del producto, es necesario una atención significativa en el diseño. En concreto, debido a que los sistemas de climatización (HVAC systems) han demostrado ser una fuente de contaminación con microorganismos patógenos, es necesario considerar ciertas características higiénicas de construcción, diseño e instalación.

En la misma línea de lo anterior, Hansen (2004) señala que el éxito para que un sistema HVAC funcione correctamente, depende del diseño del sistema y de la calidad de los componentes que se utilizan. Pero desgraciadamente no existe una buena coordinación entre los ingenieros y los distintos profesionales responsables de la construcción de edificios. Esto es debido a que no se conoce, o reconoce el problema. En concreto, estos sistemas deben ser diseñados para prevenir los depósitos de suciedad y materia orgánica que combinados con la humedad permiten el crecimiento de microorganismos que pueden ser transportados por el flujo de aire a través de los conductos. Para ello los componentes del sistema de acondicionamiento de aire deben

diseñarse de manera que se permita su fácil acceso para la limpieza y mantenimiento de las superficies internas y deben instalarse filtros adecuados y cambiarse frecuentemente.

Además, Seppänen (2008) destaca que, para una buena calidad del aire interior y una adecuada eficiencia energética, son necesarios diseñadores bien cualificados que comprendan los requisitos para ambos aspectos. Por su parte, Bolashikov et al. (2007) explican que la difusión de patógenos a través de los sistemas de climatización constituye un problema multidisciplinar y que, por lo tanto, para solventarlo son necesarios los conocimientos en diferentes campos. Así, teniendo en cuenta los conocimientos necesarios, podrían aportarse soluciones técnicas que disminuyesen la carga de patógenos transmitidos por el aire.

A este respecto es importante añadir que para el diseño de edificios y sus instalaciones, donde se procesan o almacenan productos alimenticios, los ingenieros agrónomos están capacitados para resolver estos problemas de ingeniería en la industria alimentaria (López-Gómez et al., 2009). Más específicamente, esta ingeniería utiliza una serie de normas y conocimientos para diseñar y ejecutar plantas de procesamiento de alimentos y tiene un conocimiento sustancial de la ingeniería de la higiene de alimentos para ser aplicada al diseño de los equipos, plantas, control del aire, control de personal, etc.

2.2.1.3. Limpieza y diseño higiénico como medios de control microbiano del aire.

Según Ben Othmane et al. (2011) en la industria alimentaria el control de la calidad del aire interior está directamente relacionado con la deposición de partículas en los conductos de ventilación. El polvo acumulado en los conductos de suministro de aire contiene 16-20% de materia orgánica y elementos inorgánicos cuya composición asciende a 12% de hierro, 0,4% de zinc, 4% de magnesio y 14% de silicio. Esto hace que los conductos sucios sean una fuente de nutrientes para los microorganismos, y por lo tanto se requiere que se mantengan en óptimas condiciones mediante una limpieza periódica. Según estos autores la limpieza se ha de llevar a cabo en función del flujo de partículas depositadas en el sistema. Así siguiendo como criterio para iniciar la limpieza una acumulación de suciedad de 400 mg/m^2 (ASPEC, 2004), se recomienda en función del tipo de industria alimentaria estudiada un intervalo de tiempo para la limpieza de los

conductos que varía de 1 a 9 años. Estos intervalos de limpieza dependen del tipo de filtros instalados en el sistema, de los requerimientos de higiene que se necesitan en el área de suministro y de otras características del aire.

Curiosamente, según una revisión de los resultados científicos realizada por Zuraimi (2010), la necesidad de limpieza de los conductos debe sopesarse detenidamente debido a la probable generación de contaminación y los riesgos para la salud asociados. Esto se debe a que la limpieza puede generar más contaminación en el aire interior que la que había previamente debido a la resuspensión de los contaminantes que existían en la superficie de los conductos antes de limpiarse.

Ha quedado claro que, uno de los orígenes de los contaminantes aerotransportados de los alimentos son los sistemas de acondicionamiento del aire que pueden albergar muchos tipos de microorganismos patógenos y tóxicos para el hombre. Una manera de anticiparse a este problema es diseñando adecuadamente los sistemas de acondicionamiento de aire, es decir, realizando un diseño higiénico de estos sistemas que prevenga la contaminación de los productos alimenticios. Esto permitirá reducir al mínimo los riesgos de contaminación por microorganismos que causan infecciones (e.g. *Salmonella*, *Listeria*, *E. coli*) intoxicaciones (e.g. *Staphylococcus aureus*, *Clostridium*) y deterioran los alimentos (e.g. mohos, levaduras, bacterias ácido lácticas, *Pseudomonas*) (EHEDG, 2006).

Según un estudio publicado por la administración de alimentos y medicamentos de los EEUU, (ERG, 2004), los cuatro problemas de seguridad alimentaria más importantes que se dan en las industrias de procesado de alimentos son: la falta de formación de los empleados, la contaminación de las materias primas, la falta de higiene en equipos y salas de procesado y la falta de diseño higiénico en equipos e instalaciones.

Hay que decir que el diseño higiénico es un tema bastante desconocido y la sensibilización de la industria alimentaria sobre la importancia del mismo es muy baja. Además, en la literatura se dispone de pocos artículos y en Europa solo hay una organización (el EHEDG) muy activa en la elaboración de documentos sobre este tema (Betta, 2009).

Según los criterios del EHEDG en el diseño de edificios para la industria alimentaria, deben de valorarse diversos riesgos higiénicos, entre ellos los sistemas de acondicionamiento de aire y sus componentes. Así en estos sistemas puede realizarse un APPCC, que es la mejor herramienta para analizar y gestionar los riesgos de seguridad alimentaria (EHEDG, 2007).

Además el EHEDG (2006) con el fin de conseguir una calidad microbiológica en la fabricación de alimentos, propone una serie de directrices para la climatización en las industrias alimentarias que abarcan la elección de los sistemas, los tipos de filtración, los conceptos del sistema, construcción, mantenimiento, saneamiento, pruebas, puesta en marcha, validación y supervisión del sistema. Esto se debe a que el crecimiento, la supervivencia y dispersión de los microorganismos peligrosos puede estar influenciado por el sistema de aire, que debería, entre otros requisitos, eliminar las partículas que pueden transportarlos (por ejemplo, por filtración) y no actuar como una fuente de contaminación.

Por lo tanto, un sistema mal diseñado sustenta el crecimiento microbiano y distribuye esta contaminación a través del edificio y para evitarlo será necesario realizar un diseño higiénico del sistema. Este mejor diseño del sistema permitirá realizar una limpieza y desinfección verdaderamente eficaces y además disminuirá el ensuciamiento y la contaminación microbiana de las superficies internas de estos sistemas y al mismo tiempo del aire que circula por ellos.

Además de todo lo dicho, no hay que olvidar que estos sistemas pueden ser una fuente de contaminación ambiental por *Legionella* spp. Esto puede convertir a la planta de fabricación de alimentos en un foco de legionelosis, y por lo tanto ser un peligro para los trabajadores y personas que viven en las cercanías. Lo que hace, si cabe, que sea más importante el prestar atención al diseño y manejo de estos equipos.

Así los equipos de acondicionamiento de aire con diseño higiénico son una tecnología que ayuda a reducir al mínimo la carga microbiana del producto acabado por lo que es un aspecto que no debe descuidarse.

2.2.2. Control microbiano del aire mediante filtración.

2.2.2.1. Salas blancas y ambientes microbiológicamente controlados para el procesamiento y envasado de alimentos.

A través de los sistemas de climatización convencionales no se puede prevenir el aporte de microorganismos del aire a los productos que están siendo procesados. Para cumplir con este requisito, las salas blancas, son capaces de mantener un ambiente microbiológicamente controlado que protege al producto de esta contaminación. El objetivo de estos recintos es conseguir un ambiente libre de gérmenes y mantenerlo durante el procesamiento de productos muy sensibles. Para ello es indispensable el tratamiento del aire mediante filtración. En concreto deben utilizarse filtros absolutos terminales junto con las etapas de prefiltración y filtración intermedia. Se intenta garantizar una larga vida de los filtros absolutos. Con ello se podrá impedir el incremento de la concentración de partículas suspendidas en el aire que transportan microorganismos. Por lo tanto, una reducción del número de partículas se traduciría en una reducción en la concentración de microorganismos.

Además de la concentración de partículas, en las salas blancas se controlan otros parámetros relevantes según sea necesario. Por ejemplo la temperatura, humedad, velocidad del aire y presión (Falini y Moia, 1993).

El objetivo de la presurización es proteger la limpieza del aire de la sala de los contaminantes que pueden entrar desde los espacios vecinos. Dado que la filtración por sí sola no es un método 100% efectivo para eliminar todas las partículas viables se realiza también una presurización, mediante la cual el aire debe fluir de un espacio con alto nivel de necesidad higiénica a uno de nivel menor (Anil, 2008).

Uno de los estudios que apoyan la eficacia de estas técnicas es el de Taboada et al. (2007). Estos autores encontraron un aumento de la vida útil de productos cárnicos sin sal (cerdo y pavo) loncheados y envasados haciendo uso de técnicas de filtrado del aire bajo flujo laminar equivalentes a una sala blanca de clase 100 con una localización de aplicación ceñida a la línea de fabricación y envasado. Los resultados mostraron un aumento de la vida útil, en refrigeración a 4°C, de más de 15 días en estos productos con

respecto a los envasados en una sala de condiciones convencionales (sala de clase 100.000).

En otro estudio, Burfoot et al. (2007) encontraron que el uso de unidades de filtrado HEPA para reducir la contaminación microbiana en el aire de una sala de evisceración de canales de pollos, producía reducciones en los recuentos de microorganismos aerobios del aire de hasta 68 veces con respecto al uso de aire sin filtrar. Hay que destacar que con los filtros absolutos HEPA se asegura una retención del 99,97% de las partículas mayores de 0,3 μm . Pero puesto que el filtrado no es total, cuanto más sucio esté el aire que circula por el sistema de climatización mayor será el número de partículas potencialmente contaminantes que estarán presentes en el ambiente. Es decir cuanto más sucio esté el sistema mayor será la contaminación que entre al recinto cuyo ambiente se quiere controlar y más frecuente y más caro será el mantenimiento de los filtros. Además, dado que los filtros HEPA se dañan fácilmente, se debe tener un gran cuidado durante la instalación de los mismos. Por ejemplo tienen que encajarse firmemente en carcasas para evitar cualquier fuga de aire (Anil, 2008).

Por otro lado para el control microbiano ambiental, un procedimiento típico en el procesado de la leche UHT es el envasado aséptico. Tras la esterilización del material de envasado y de la máquina de llenado con peróxido de hidrógeno gaseoso y con aire caliente, el aire que entra en la máquina es esterilizado, filtrado, y mantenido a una sobrepresión. Tales precauciones son necesarias para prevenir la contaminación después de la esterilización del producto con las bacterias del aire y mohos.

Por lo tanto la filtración es una buena técnica para evitar la contaminación de los alimentos por microorganismos aerotransportados. Aún así, estos elementos deben ser objeto de un adecuado mantenimiento, que evite que se conviertan en una fuente de contaminación del aire.

Fuera de las áreas de trabajo con alimentos en contacto con el aire también es recomendable el uso de este método de lucha. Así, la filtración es una técnica que también es útil para edificios de oficinas. Bluysen et al. (2003) enumeran entre otras prácticas una adecuada selección e instalación de filtros en los sistemas de climatización como forma de evitar la contaminación del aire. En este estudio se sugieren como fuentes de contaminación del aire interior de los edificios, factores relacionados con el

diseño y materiales de los sistemas de tratamiento del aire utilizados. Además el estudio demostró que los ocupantes de los edificios son una fuente de contaminación menos importante que los propios componentes de sistema.

2.2.2.2. Estudio del caso: loncheado y envasado de productos cárnicos listos para el consumo.

La seguridad alimentaria es una de las cuestiones más importantes a la que se enfrenta la industria de fabricación de alimentos para un incremento en la variedad de productos listos para el consumo. Un procesamiento mínimo y ligero tratamiento de descontaminación en un envase en frío, y por lo general sin tratamiento térmico posterior, ni adición de conservantes, caracterizan a los productos cárnicos listos para el consumo. Por lo tanto, éstos requieren refrigeración y son muy vulnerables a la alteración microbiana y el desarrollo de microorganismos patógenos, lo que puede causar problemas graves de vida útil de los productos y de seguridad alimentaria (López y Ros, 2005; Wirtanen, 2002).

Con el fin de obtener una vida útil adecuada para estos productos y para evitar los problemas de desarrollo de microorganismos patógenos, se hace necesario el uso de la tecnología de envasado aséptico o ultra limpia. Además, estos productos deben ser, en cierta medida, previamente descontaminados (Den Aantrekker, 2003; Rouaud, 2002).

Estas tecnologías de envasado en frío en condiciones ultra limpias y asépticas tienen que ser llevadas a cabo en salas de envasado y líneas de envasado que trabajen con una adecuada presión positiva, a salvo de la contaminación, y en condiciones adecuadas de baja temperatura y humedad relativa. Por esa razón, es necesario optimizar el diseño y el funcionamiento de las instalaciones correspondientes de enfriamiento y la filtración del aire que entra en estas salas y fluye a través del interior de los equipos de envasado (Burfoot, 1999, 2000; Burfoot et al., 2000; EHEDG, 2006).

En la mayoría de los casos, se utilizan diseños que implican algún sistema de suministro de aire situado para aplicar aire filtrado y limpio en el alimento que, de esta forma, se protege de la recontaminación. Si la temperatura del alimento es baja, la temperatura del aire también debe ser baja. Por ejemplo, en la industria cárnica, la

temperatura de los productos cárnicos debe permanecer en 5 °C o menos durante el envasado. Sin embargo, los estándares de seguridad y salud pueden recomendar, si la seguridad del alimento no está comprometida, que la temperatura del aire de las salas de envasado se mantenga a 13 °C o más (EHEDG, 2006). De hecho, los sistemas localizados de suministro de aire limpio y filtrado ofrecen la posibilidad de cumplir ambas restricciones, ya que el aire que se aplica sobre el producto puede ser a temperatura más baja que el aire de la habitación en donde se hace el procesamiento y envasado de alimentos (Burfoot, 1999, 2000; Burfoot et al., 2000). En un trabajo de Sánchez et al. (2007a) se estudió una línea cubierta de envasado Clase 100 (Federal Standard, 1992), analizando su influencia en la calidad y la vida útil de determinados productos cárnicos cocidos. La calidad y los resultados de vida útil obtenida con este sistema localizado de suministro de aire limpio y filtrado se compararon con los obtenidos en una línea de envasado situada simplemente en una habitación limpia y sin este tipo de cobertura de Clase 100.

2.2.2.2.1. Papel de la temperatura y la humedad relativa.

Los sistemas de tratamiento de aire diseñados adecuadamente controlan las partículas en el aire y los olores y reducen al mínimo los riesgos para los productos de la contaminación microbiana aérea. Se utilizan temperaturas por debajo de 13 °C porque temperaturas más altas son perjudiciales para la seguridad de los productos cárnicos. Es muy importante controlar la variabilidad de la temperatura y la humedad relativa (HR), ya que estos parámetros tienen una gran influencia en el nivel de contaminación del aire de las salas. Para destacar las grandes variaciones de temperatura y humedad relativa que se pueden encontrar en las industrias cárnicas, se muestran en la Tabla 2.1 algunos datos experimentales (Sánchez et al., 2007b) obtenidos en una sala blanca convencional (del inglés CCR) de loncheado y envasado. Para los valores medios obtenidos de temperatura y humedad relativa tienen lugar condensaciones en los productos estudiados (temperatura de procesamiento del producto -1/-2 °C). Para que estas condensaciones no se produzcan las condiciones de temperatura y de humedad relativa serían $> 6\text{ °C}$ y $< 50\%$ de HR.

Tabla 2.1. Media (Med.), máximo (Max.) y mínimo (Min.) Valores de parámetros físicos obtenidos en CCR.

Temperatura (°C)			HR (%)			Vel. del aire (m/s)			Dew Point
Med.	Max.	Min.	Med.	Max.	Min.	Med.	Max.	Min.	
9,47	12,00	7,50	57,25	67,00	47,25	2,96	3,30	2,10	1,0

2.2.2.2.2. Influencia del personal que trabaja en las salas blancas.

La presencia de personas tiene una gran influencia en la calidad del aire de las salas blancas porque la gente genera partículas que contienen microorganismos y calor que debe ser eliminado por el equipo de refrigeración (Burfoot et al, 2000; Leveau y Bouix, 2002; Odum, 2004). Sánchez et al. (2007c) hicieron los recuentos de partículas en el aire en puntos seleccionados de una sala blanca de clase 100.000, y observaron que los valores varían mucho según las condiciones de trabajo y el número de personas que trabajan en la sala. Los recuentos de partículas fueron los correspondientes a una sala de clase 100.000 (según la norma FS 209D) y sala clase 8 (según la norma ISO) (Odum, 2004) si el equipo y todas las personas necesarias estaban trabajando. Pero la clase de sala blanca aconsejable para este tipo de productos cárnicos en las etapas de procesamiento y envasado sería la clase 10.000. Esta clase se puede lograr si los equipos están apagados y la habitación está vacía de gente. La Tabla 2.2 muestra el cambio de clase de una sala blanca en función de las personas que trabajan en la sala blanca obtenida por Sánchez et al. (2007c).

Tabla 2.2 Variación de la clase de sala blanca (de acuerdo con las normas ISO y FS 209D) en función de las personas que trabajan en la sala.

Sala vacía		Sala con 5 personas	
FS	ISO	FS	ISO
10.000	7	100.000	8

La ropa de los trabajadores tiene una gran importancia, ya que una persona con ropa normal genera 300.000 partículas por minuto de un diámetro superior a 5 µm, y la misma persona provista de ropa especial genera 50.000 partículas (Leveau y Bouix 2002). También Sanchez et al., (2007c) observaron que cuando se aumenta el número de personas en la sala el número de partículas por m³ de aire sufre un aumento progresivo. En estas condiciones se obtuvo una buena protección del producto cuando

se cubrió la línea con una unidad de filtración para obtener un aire microbiológicamente controlado y protegiendo así el producto de posibles contaminaciones cruzadas.

2.2.2.2.3. Relación entre la contaminación del aire y la contaminación del alimento.

El aire es una fuente de contaminación durante el procesado y envasado de alimentos. Si la cantidad de unidades formadoras de colonias de aire (UFC/m³), aumenta en el procesado y envasado en sala blanca, la contaminación probable en el aire que cae sobre las bandejas abiertas que contienen productos cárnicos en lonchas aumentará, como se muestra en la Tabla 2.3 de Sánchez y col . (2007b). El número de UFC probable que cae en la bandeja abierta que contiene el producto cárnico en lonchas se calculó de la siguiente manera (expresado como UFC/bandeja):

Nº probable de UFC = [UFC/m³ de aire x superficie de la loncha (0,0246 m²/loncha) x velocidad del aire (2,96 m/s) x tiempo de exposición (10 s)] x [número de lonchas /bandeja]

El cálculo se hizo para 10 segundos de exposición del producto a la contaminación ambiental, una media de velocidad del aire de 2.96 m/s (Sanchez et al., 2007b).

Tabla 2.3. Valores medio, máximo y mínimo de UFC/m³ en una sala blanca convencional

	UFC/m ³	UFC/bandeja
Media	223	1,1
Máximo	1.990	9,8
Mínimo	<10	<0,5

2.2.2.2.4. Influencia del tamaño de las partículas en el aire y su contaminación.

Estudios de algunos investigadores establecen que el tamaño medio de las partículas que llevan microorganismos está comprendido entre 5 y 20 micrómetros de diámetro. Otros autores determinan un diámetro medio de las partículas que contienen microorganismos de 12 a 14 micras, con diámetros mínimos inferiores a 1 micra y diámetros máximos superiores a 100 micras (Whyte, 1986). Como un ejemplo, la

correlación entre el tamaño de las partículas y los recuentos microbianos en el aire de una sala blanca de clase 100.000 dedicada al cortado y envasado de productos cárnicos se muestra en la figura 2.1 (Sánchez et al., 2007b). En este caso, solo se obtienen buenas correlaciones para diámetros de entre 3 y 10 micras.

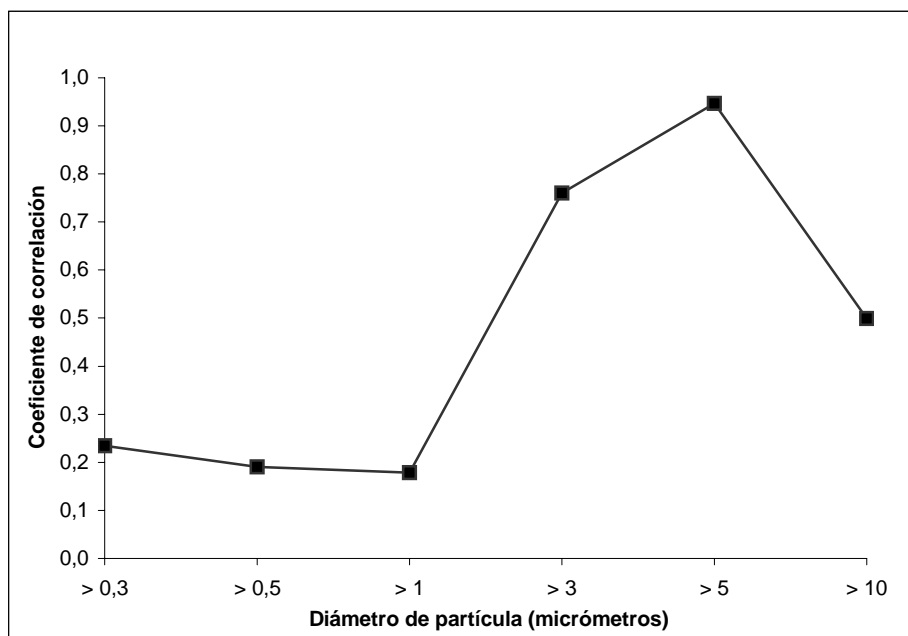


Figura 2.1. Variación del coeficiente de correlación (r^2) según el tamaño de las partículas (μm) y los recuentos microbianos (UFC/ m^3) en una sala blanca convencional (Sanchez et al., 2007).

2.2.2.2.5. Uso de un ambiente controlado microbiológicamente (del inglés MCE) con aire filtrado localizado en un espacio reducido para líneas de procesado y envasado.

El uso de unidades de filtración de aire localizadas u otras soluciones de filtración del aire (López-Gómez y Ros-Chumillas, 2005) para crear un ambiente controlado microbiológicamente clase ISO 5 ajustado a la línea de procesado y envasado sería de gran eficacia para el control de los recuentos microbianos en los productos cárnicos envasados en lochas. Es posible localizar la unidad de filtración de aire en posiciones críticas en la línea de loncheado y envasado con el fin de controlar la recontaminación por el aire de los productos cárnicos loncheados antes del cierre y termo-sellado del envase. En un ambiente controlado con recuentos de aire <1 UFC/ m^3 y cuando la altura de la unidad de filtración del aire al plano de trabajo es <75 cm, es posible obtener una muy buena protección del producto. De hecho se obtiene un ambiente de clase ISO 5 (equivalente a una sala blanca clase 100 según la norma FS

209D) (Odum, 2004). Con la unidad de filtración de aire a <125 cm por encima del plano de trabajo se puede obtener una gran eficacia del control de la calidad del aire con valores de número de UFC/m³ <1 y valores de número de partículas con diámetro medio de 0,5 µm/m³ <10. Si la altura de la unidad de filtración de aire al plano de trabajo es de unos 150 cm la sala blanca es de clase 1.000 (según norma FS 209D) (Burfoot, 1999, 2000; Burfoot et al., 2000; García et al., 2002, García et al., 2003; Sánchez et al., 2007b).

Hay grandes diferencias entre los valores medios de la contaminación microbiana de los productos trabajando en ambientes controlados clase 100 (ISO 5) y los obtenidos en una sala blanca de clase 10.000 o 100.000. El uso de unidades de filtración localizadas implica un control de la deposición de microorganismos en las superficies de trabajo y en las bandejas abiertas con el producto. Sánchez et al. (2007b) han demostrado que se obtienen valores más pequeños de UFC/g trabajando con unidades de filtración localizadas que con una sala blanca tradicional (véase Tabla 2.4). Se ha observado que cuando se trabajó con unidades de filtración localizadas el porcentaje de productos cárnicos con valores <10¹ UFC/g aumenta, y el porcentaje de productos con > 10³⁻⁴ UFC/g disminuye. Esta disminución del recuento microbiano del producto envasado, cuando se trabaja con unidades de filtración localizadas, conduce a un aumento de la vida útil (véase la Tabla 2.5). De hecho, de acuerdo con Sánchez et al. (2007b), con la aplicación de estos recintos de ambiente controlado tipo ISO 5 en productos cárnicos loncheados y envasados se obtiene un aumento de la vida útil de 3-4 días en los productos almacenados a 11 °C y de 12-18 días si el producto es refrigerado a 4 °C.

Tabla 2.4. Recuentos microbianos en productos cárnicos cocidos trabajando en una sala blanca tradicional (TCR) y en ambiente controlado clase ISO 5 con unidades de filtración localizadas (FFU covers) (Sanchez et al., 2007b).

	Jamón cocido		Carne de pavo cocida	
	TCR	FFU covers	TCR	FFU covers
Media (UFC/g)	1,85e+03 (N=85)	6,70e+02 (N=11)	5,22e+02 (N=82)	1,09e+02 (N=28)
% Muestras <10	3	9	7	25
% Muestras 10-10 ²	27	45	33	54
% Muestras 10 ² -10 ³	30	18	33	21
% Muestras 10 ³ -10 ⁴	33	27	27	-
% Muestras >10 ⁴	6	-	-	-

N= número de repeticiones

En conclusión, las unidades de filtración localizadas permiten un control de la calidad del aire ceñido en cada zona de la línea de procesado y envasado. Las partículas y microorganismos no son transportados desde las diferentes fuentes de contaminación constituidas por los trabajadores, el aire de la habitación, el suelo, la máquina de corte, las cintas transportadoras y los equipos de envasado y termo-sellado (López-Gómez y Ros-Chumillas 2005). Esta solución permite tener una sala de procesado y envasado con varias líneas de corte y envasado sin paredes de separación entre ellas. Es posible un control estricto de la humedad relativa del aire y la temperatura en contacto con el producto debido a la ausencia de trabajadores dentro de la corriente de aire filtrado. Trabajando con las unidades de filtración localizadas u otros sistemas de control microbiano del ambiente es posible disminuir efectivamente la contaminación de los productos cárnicos envasados y lograr un importante aumento de la vida útil del producto almacenado y envasado en frío. De hecho Sánchez et al. (2007b) han obtenido un aumento del 50% en la vida útil del jamón cocido almacenado en frío y del 40% de la vida útil de carne de pavo cocida (véase Tabla 2.5).

Tabla 2.5. Relación entre el recuento microbiano del producto envasado y la vida útil (indicada por un recuento microbiano final mayor de $> 6 \log \text{ufc/g}$) para jamón cocido de cerdo y carne de pavo cocida loncheados y envasados trabajando en una sala blanca tradicional (TCR) y en ambiente controlado clase ISO 5 con unidades de filtración localizadas (FFU covers). (Sanchez et al., 2007b).

		Log (UFC/g)	Vida útil a 11°C (días)	Vida útil a 4°C (días)
Jamón de cerdo cocido				
TCR	*Media	3,1	5,1	18,6
	Máximo	4,0	10,0	50,0
	Mínimo	1,5	2,0	10,0
FFU cover	**Media	1,1	7,8	35,0
	Máximo	2,9	10,0	40,0
	Mínimo	0,0	7,0	30,0
Carne de pavo cocida				
TCR	***Media	2,1	7,2	32,3
	Máximo	3,4	17,0	80,0
	Mínimo	0,0	4,0	20,0
FFU cover	****Media	1,5	10,3	49,2
	Máximo	2,8	20,0	80,0
	Mínimo	0,0	5,0	25,0

TCR Es una sala blanca tradicional de clase 100.000

* No hubo valores menores de $< 10 \text{ UFC/g}$

** 60 % de las muestras con valores $< 10 \text{ UFC/g}$.

*** 9% de las muestras con valores $< 10 \text{ UFC/g}$.

**** 17% de las muestras con valores $< 10 \text{ UFC/g}$.

2.2.3. Control microbiano del aire mediante lámparas ultravioletas.

Para el aire evacuado de los procesos de cocción también se han investigado sistemas de limpieza que además ayudan a reducir el riesgo de incendio y los olores causados por las moléculas transportadas en este aire. Alexandrova (2010) recomienda el uso de lámparas que emiten radiación ultravioleta C en combinación con sistemas de filtrado multietapa, para combatir estos problemas. Esta técnica también consigue disminuir la frecuencia de limpieza de los conductos de extracción del aire. No obstante estos sistemas son caros y peligrosos para la salud humana tanto por la luz ultravioleta como por la emisión de ozono durante los procesos de degradación de las moléculas tratadas.

Además se ha estudiado su utilización para el control de los hongos que contaminan el aire interior y las superficies de las unidades de tratamiento de aire de edificios públicos (Levetin et al., 2001). Sin embargo no se demostró una reducción de la viabilidad de las esporas ni tampoco que todos los hongos presentes en estos sistemas sean sensibles a la irradiación con luz UV-C.

Otro estudio sobre el efecto de la radiación ultravioleta germicida (UVGI) en el flujo de aire de conductos de sistemas de refrigeración y calefacción (Menetrez et al., 2010), demuestra la viabilidad de este método para disminuir el número de microorganismos (bacterias y hongos) aerotransportados en la corriente de aire interior. Estos autores ponen de manifiesto la necesidad de un diseño adecuado de los sistemas de aire acondicionado y calefacción (HVAC systems) para maximizar la eficacia germicida de la radiación ultravioleta, que se utiliza debido a que las superficies de estos sistemas acumulan suciedad y humedad lo que hace que crezcan microorganismos peligrosos que luego son transportados por el interior del edificio.

Hay que añadir que con este método es difícil inactivar esporas de microorganismos, e.g. *Bacillus* spp. (Knudson, 1986) y en ambientes húmedos los patógenos pueden sobrevivir al efecto germicida de las lámparas UV, ya que el vapor de agua puede causar interferencias en la radiación. Además de este hecho, todo equipo UVGI necesita un mantenimiento frecuente por ejemplo por el polvo asentado en las lámparas que reduce la irradiación y para el control de las lámparas fundidas. Por estas

razones la radiación UVGI sólo se acepta como protección complementaria a los sistemas de filtrado para el control de la propagación de la infección (Anil, 2008).

Una técnica que ya se utiliza en la industria alimentaria para eliminar malos olores y que también tiene aplicación para el control microbiano del el aire ambiente interior es la oxidación fotocatalítica (PCO) con luz ultravioleta germicida (UVGI), que es capaz de acabar con cualquier microorganismo aéreo que pueda alterar un producto alimenticio. Esta técnica se fundamenta en la oxidación de compuestos químicos mediante un agente reductor (generalmente óxido de titanio), en presencia de una fuente de luz ultravioleta. En el mejor de los casos, todos los contaminantes eliminados son convertidos en agua y niveles no peligrosos de CO₂. Sin embargo, el proceso de conversión de los contaminantes puede liberar sustancias químicas nocivas como diversos aldehídos (Bolashikov et al., 2007).

2.2.4. Control microbiano del aire mediante aceites esenciales (EOs).

Otra manera para controlar la calidad y seguridad alimentaria de los alimentos y alargar su vida útil es el uso de envases activos, que liberan sustancias que alteran las condiciones del sistema envase/alimento envasado. Así se están investigando novedosos métodos para controlar la contaminación bacteriana en los alimentos mediante el vapor generado por aceites esenciales naturales, por ejemplo de canela o clavo (Goñi et al., 2009). Estos aceites liberan compuestos como el eugenol, que presentan actividad antimicrobiana frente a bacterias gram positivas y gram negativas que pueden causar intoxicaciones alimentarias y podrían servir como una forma de alargar la vida útil de los alimentos respetuosa con el medio ambiente y que además no influya significativamente en las propiedades organolépticas de los mismos.

Además de lo anterior, se está estudiando el uso de estos aceites en los sistemas de ventilación industrial, pero su aplicación está todavía siendo objeto de ensayos científicos. Uno de estos estudios ha señalado que la vaporización de aceites esenciales utilizados como ingredientes en la industria alimentaria, puede afectar a la calidad del aire cuando se utilizan en interiores, sobre todo bajo una ventilación deficiente (Martins et al., 2011). Así, algunas especies de carbonilo no saludables, como el formaldehído y el valeraldehído, se midieron a baja temperatura durante la vaporización de aceites

esenciales, lo que indica un efecto potencial sobre la calidad del aire y la salud humana (Chiang et al., 2010).

Como otro inconveniente para su aplicación hay que destacar la hipersensibilidad de algunas personas a ciertos aceites esenciales (tomillo, menta, orégano, etc.) y el hecho de que algunos de estos también muestran actividad citotóxica (Bolashikov et al., 2007).

PARTE II

MATERIALES Y MÉTODOS

CAPÍTULO 3

Materiales y Métodos

3.1. ESTUDIO DE LOS MÉTODOS DE LIMPIEZA, LAS CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO Y CONDICIONES DE OPERACIÓN DE CONDENSADORES EVAPORATIVOS EN SERVICIO.

Se muestrearon un total de 10 equipos localizados en 5 empresas del sector agroalimentario de la Región de Murcia (España). Los equipos se localizaron en las poblaciones de La Unión, Cabezo de Torres, Alguazas y Torre Pacheco (ver Tabla 3.1.). Esta muestra suponía el 5% de los equipos censados en la Región en el año 2007 y el 6% de la empresas con este tipo de sistemas de refrigeración (Consejería de Sanidad, 2007).

Tabla 3.1. Relación de condensadores evaporativos muestreados.

Nº de equipo	Marca comercial	Actividad empresarial	Población
1	Tefrinca	Almacenamiento frigorífico	La Unión
2	Tefrinca	Almacenamiento frigorífico	La Unión
3	Baltimore	Almacenamiento frigorífico	Alguazas
4	Tefrinca	Almacenamiento frigorífico	Alguazas
5	Baltimore	Fabricación y distribución de productos congelados	Alguazas
6	Placas	Fabricación y distribución de productos congelados	Alguazas
7	Baltimore	Fabricación y distribución de productos congelados	Alguazas
8	Tefrinca	Fabricación de bebidas de zumos de fruta	Cabezo de Torres
9	Evapco	Almacenamiento frigorífico	Alguazas
10	Baltimore	Almacenamiento frigorífico	Torre Pacheco

Se ha elaborado un estadillo de toma de datos para cada una de las instalaciones muestreadas (ANEXO I) con el fin de conocer sus características constructivas principales, su estado sanitario, los materiales de construcción y sus defectos de diseño higiénico en base a los criterios de diseño higiénico aplicados en los equipos de procesado de alimentos (EHEDG, 1993; EHEDG, 1996; Rosset, 2002; EHEDG, 2004a; EHEDG, 2004b; EHEDG, 2005; Schmidt y Erickson, 2005). También se ha utilizado para recoger en detalle los procedimientos actuales de limpieza y desinfección, los métodos y agentes de limpieza, la frecuencia de aplicación y eficacia de los mismos.

Como complemento a la información anterior se tomaron fotografías y filmaciones de las instalaciones en funcionamiento con una cámara digital compacta marca SONY modelo P 200.

Se tomaron imágenes de microscopia electrónica de barrido (Hitachi S-3500 N) de los principales materiales constructivos de los equipos convencionales, con el fin de obtener información sobre las características superficiales de los mismos. Se analizaron muestras de acero galvanizado, acero inoxidable, PVC y poliéster reforzado con fibra de vidrio. Las muestras se colocaron sobre soporte metálico y se cubrieron con una fina capa de oro en un equipo Polaron SC 7640 Sputter Coater. Para la obtención de imágenes, se utilizó un detector de electrones retrodispersados, una distancia de trabajo de 15 mm y una tensión de 15 kV.

Esta caracterización y análisis en detalle de los equipos que se utilizan en la actualidad, ha servido como base para la selección de materiales de construcción de equipos con diseño higiénico y para el diseño de un nuevo tipo de condensador evaporativo con un sistema automático de limpieza CIP y del programa de limpieza y desinfección química.

3.2. DETERMINACIONES ANALÍTICAS. ANÁLISIS DE AGUAS DE CONDENSADORES EVAPORATIVOS.

Se han analizado las aguas de enfriamiento de 10 instalaciones que prestan servicio en empresas agroalimentarias, repartidas por distintos puntos geográficos de la Región de Murcia (ver Tabla 3.1.). Se han realizado un total de 38 análisis, durante las estaciones de primavera, verano y otoño, época en la que se da un mayor número de brotes de legionelosis. Estos análisis se realizaron con muestras de agua de los condensadores evaporativos funcionando, antes y después de limpiar los equipos.

3.2.1. Determinaciones físico-químicas.

Se han determinado las características físicas y químicas de las aguas utilizadas en los condensadores. Parte de estas determinaciones se realizaron in situ en el momento de toma de muestra con equipos portátiles. Este el fue caso de la turbidez (turbidímetro TN-100, Eutech Instruments), pH (pHmetro Hanna), cloro activo

(medidor Hanna Checker), conductividad eléctrica y temperatura (conductímetro y termómetro ECTESTER WP11 PLUS) y hierro (medidor Hanna Checker). Por otro lado, a las muestras trasladadas al laboratorio, se les determinó el contenido en carbono orgánico total (analizador TOC-V CSH Shimadzu), los sólidos totales por gravimetría (diferencia de pesadas tras secado en estufa), la dureza total por colorimetría (test de tiras sensibles AQUADUR) y los cloruros y el manganeso por cromatografía iónica (cromatógrafo iónico Metrohm).

3.2.2. Análisis microbiológicos.

Se ha analizado la presencia en el agua de amebas y otros protozoos mediante el cultivo en agar – agar (Scharlab, Barcelona, España), incubación a 25 °C durante 2 días y observación al microscopio de contraste de fases.

Se ha realizado el recuento total de microorganismos aerobios mesófilos por siembra en placa con homogeneización en masa, e incubación en agar PCA (Scharlab) a 30 °C durante 2 días.

La presencia de *Legionella* spp. se ha determinado mediante el método descrito en las normas ISO 11731:1998 e ISO 11731-2:2004 por siembra en agar GVPC: BCYE suplementado con glicina, vancomicina, polimixina B y cicloheximida (AES, Bruz Cedex, Francia) e incubación durante 13 días a 37 °C y confirmación en agar BCYE, (Buffered Charcoal Yeast Extract), y agar BCYE sin cisteína (AES) durante 2 días a 37 °C. La confirmación de colonias sospechosas se realizó mediante pruebas de aglutinación de látex (OXOID, Basingstoke, Reino Unido).

Los análisis microbiológicos se realizaron en los laboratorios del departamento de Ingeniería de Alimentos y del Equipamiento Agrícola de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica de la Universidad Politécnica de Cartagena. Foto 3.1.



Foto 3.1. Cabina de seguridad biológica y equipo de toma de muestras.

3.3. DISEÑO DE NUEVOS EQUIPOS.

Se ha realizado el diseño a nivel de ingeniería de detalle, teniendo en cuenta todos los datos obtenidos en los apartados anteriores, del sistema de limpieza y desinfección y del nuevo tipo de condensador. Se ha hecho uso de la herramienta de diseño paramétrico CATIA V5 R17 (Dassault Systèmes, Vélizy-Villacoublay, Francia), y el software de diseño asistido por ordenador AutoCAD 2006 (Autodesk, San Rafael, Estados Unidos) para la realización de planos y esquemas constructivos. Se ha desarrollado un nuevo tipo de condensador evaporativo con las técnicas de diseño en 3D y 2D que incorpora todas las mejoras posibles desde el punto de vista del diseño higiénico (EHEDG, 1993; EHEDG, 1996; Rosset, 2002; EHEDG, 2004a; EHEDG, 2004b; EHEDG, 2005; Schmidt y Erickson, 2005), y que lleva acoplado un sistema automático de limpieza y desinfección. Se han especificado las mejores soluciones de diseño que se requieren para un funcionamiento energéticamente eficiente y seguro de cara a la eliminación del riesgo de transmisión de la *Legionella* por estos equipos.

3.4. EVALUACIÓN TERMODINÁMICA Y DE LA LIMPIABILIDAD DE EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO. EVALUACIÓN EN PLANTA PILOTO Y EVALUACIÓN EN TALLER DE UN PROTOTIPO DE CEHA.

3.4.1. Características técnicas del prototipo de condensador evaporativo automático e higiénico.

Los trabajos de evaluación termodinámica y de limpiabilidad, se han llevado a cabo en taller sobre un prototipo de condensador evaporativo automático e higiénico construido, por la empresa Refrigeración Industrial Zamora S.L.

El prototipo, se ha construido de acuerdo con las indicaciones de diseño higiénico que se han recogido en el capítulo 7, con algunas modificaciones que se detallan más abajo, para obtener un prototipo de condensador evaporativo automático e higiénico de tamaño medio, con una capacidad frigorífica de 86.000 kcal/h (100 kW). Cada componente se ha resuelto con la solución que implique un mínimo coste de inversión.

Las características constructivas principales del condensador evaporativo automático e higiénico construido son las siguientes:

Batería de tubos de condensación:

- Tubo de acero inoxidable de aplicación sanitaria AISI 316 de 5/8" de diámetro, de 1,5 mm de espesor. Acabado superficial tipo brillante espejo (rugosidad superficial media = 0,03 – 0,1 μm).
- 26 filas de tubos, de 14 tubos cada una. Total = 364 tubos.
- Longitud de los tubos = 1550 mm.

Ventiladores:

- 2 ventiladores de 6.000 m³/h cada uno.
- Potencia eléctrica de cada ventilador: 370 W.

Bomba de recirculación de agua hacia la batería de tubos:

- Caudal: 8 L/s.
- Potencia del motor eléctrico: 0,55 kW

Potencia frigorífica de diseño:

- Potencia frigorífica de diseño = 100 kW

En las fotos siguientes se pueden ver los detalles de diseño higiénico del prototipo construido de condensador evaporativo higiénico y automático.



Foto 3.2. Vista general del prototipo construido de condensador evaporativo higiénico y automático, con la unidad CIP acoplada.

En el prototipo desarrollado, la unidad CIP es del tipo de simple tanque, de 500L (Foto 3.2), de capacidad para la formulación de las soluciones de lavado. Esta unidad CIP está dotada de 3 bombas dosificadoras: una de solución concentrada de ácido nítrico, otra de solución concentrada de sosa, y otra de solución de biocida, para la desinfección. (Ver Foto 3.9).

Los ventiladores están colocados en una pared lateral, y no en el techo del condensador, y están protegidos por una tela metálica de un paso de 1 mm, para evitar que entre suciedad en el equipo, cuando éste está parado. Se considera que esta solución

es de mayor diseño higiénico que la tradicional con el ventilador axial colocado en el techo del condensador.



Foto 3.3. Detalle de las compuertas laterales de salida del aire del condensador prototipo.

En este prototipo, las compuertas laterales de salida del aire son de accionamiento automático, en fase de funcionamiento de los ventiladores (Foto 3.3). La entrada de aire se realiza a través de unas lamas de sobrepresión (Foto 3.4) que cuando el equipo está en fase de lavado permanecen cerradas. En las paredes laterales se colocaron grandes ventanales de lámina de metacrilato para poder observar la distribución del agua y de las soluciones de lavado sobre los distintos componentes del interior del condensador. En los equipos reales, estas paredes serían también de chapa de acero inoxidable AISI 304 con acabado superficial 2B (rugosidad superficial media = $0,1 - 0,5 \mu\text{m}$).



Foto 3.4. Detalle del diseño higiénico interior, de la zona inferior o balsa, del condensador y de los encuentros entre paredes y fondo (balsa inferior).

En la Foto 3.4 se muestra el diseño higiénico de la parte inferior del prototipo de condensador evaporativo. La bandeja de recogida de agua permite el drenado total de la misma. Las paredes son de chapa de acero inoxidable AISI 304 de terminación 2B, con

juntas rematadas con resina epoxi, para evitar huecos donde se pueda acumular la suciedad y los biofilms. Las uniones soldadas fueron pulidas mecánicamente.

El prototipo cuenta con una red de tuberías que finalizan en unos aspersores de limpieza del tipo spray balls. Este sistema, se divide en tres sectores que se pueden distinguir según la colocación de las bolas de lavado: sobre el separador de gotas, debajo del separador de gotas y sobre la batería de tubos de acero inoxidable, y en el fondo del condensador, sobre la balsa y debajo de la batería de tubos.

3.4.2. Validación del comportamiento térmico, y de consumos de agua y energía.

El prototipo de condensador evaporativo se ha instalado acoplado a una instalación frigorífica de enfriamiento de aire (como las destinadas por ejemplo a un secadero de jamones), dotada de compresor frigorífico con motor eléctrico de accionamiento de 50 CV de potencia, tal como se puede ver en la Foto 3.5. El conjunto se ha instalado en el exterior de la nave taller de la empresa Refrigeración Industrial Zamora S.L.

El prototipo tiene acoplado un sistema completo de monitorización de las condiciones de trabajo desde el punto de vista térmico, incluyendo la instrumentación (sondas) necesaria, para la caracterización de los parámetros de funcionamiento típicos de estos equipos que se estudian en este apartado. En concreto:

- 2 anemómetros, conectados a la entrada de los ventiladores (ver Foto 3.6).
- 2 termómetros e higrómetros conectados a la entrada y la salida del aire del condensador (ver Foto 3.6).
- 2 sondas de temperatura del fluido frigorígeno (R-22), tipo PT100, colocadas a la entrada y a la salida del condensador (ver Foto 3.7).
- 1 sonda de temperatura del agua dentro del condensador.

Estas sondas estaban conectadas a un ordenador portátil, a través del cuadro eléctrico del prototipo de condensador evaporativo (ver Foto 3.8).

Además, se han utilizado los siguientes equipos de medida:

- Caudalímetro de ultrasonidos, conectado en la tubería de salida del refrigerante R-22 condensado (ver Fotos 3.9 y 3.10), marca Controlotrom, mod System 1010 (Uniflow Universal Multifunction Flowmeter).
- Analizador portátil de energía para sistemas trifásicos, marca Elcontrol, modelo MICROVIP 3 (ver Fotos 3.11 y 3.12).
- Anemómetro-higrómetro-termómetro, portátil, marca TSI, modelo Velocicalc Plus.

Las mediciones servirán para comprobar que el nuevo tipo de condensador evaporativo que se propone, tiene unas prestaciones térmicas tan buenas como las de los condensadores evaporativos convencionales.

El conjunto de instalación frigorífica de enfriamiento de aire y el prototipo de condensador evaporativo automático e higiénico, se han alimentado a través de un grupo electrógeno de 200 kVA, modelo 11-200, de la marca Inmesol (ver Foto 3.13.)



Foto 3.5. El prototipo de condensador evaporativo se ha acoplado a una instalación frigorífica de enfriamiento de aire, con un compresor de 50 CV (36,8 kW) de potencia eléctrica.



Foto 3.6. Anemómetro e higrómetro conectados a la entrada de cada uno de los dos ventiladores del prototipo de condensador evaporativo.



Foto 3.7. Sondas de temperatura del fluido frigorífico (R-22) conectadas a la entrada y salida del prototipo de condensador evaporativo.



Foto 3.8. Cuadro eléctrico del prototipo de condensador evaporativo.



Foto 3.9. Sonda del caudalímetro de ultrasonidos (marca Controlotrom) conectado a la tubería de salida del condensado (del fluido frigorífico R-22), en la salida del prototipo de condensador evaporativo.



Foto 3.10. Instalación del caudalímetro de ultrasonidos (marca Controlotrom) en la tubería de salida del condensado (del fluido frigorífico R-22), en la salida del prototipo de condensador evaporativo.



Foto 3.11. Analizador portátil de energía para sistemas eléctricos trifásicos, conectado al grupo de enfriamiento de aire, con compresor de 50 CV.



Foto 3.12. Analizador portátil de energía para sistemas eléctricos trifásicos, conectado al grupo de enfriamiento de aire, con compresor de 50 CV.



Foto 3.13. Grupo electrógeno de 200 kVA, instalado para hacer los ensayos de comportamiento térmico del prototipo de condensador evaporativo.

3.4.3. Evaluación de la limpiabilidad en laboratorio.

Se ha evaluado el comportamiento de distintos componentes y materiales de los condensadores evaporativos utilizando un sistema CIP diseñado a escala de laboratorio.

Se ha estudiado la limpieza de una suciedad modelo, así como de la normalmente originada en estos equipos por su funcionamiento en sistemas frigoríficos.

Se han evaluado diferentes productos de limpieza en función de distintos programas de lavado.

Se ha realizado una valoración del nivel de desinfección conseguido a través de métodos de control microbiológico ambiental y de superficies, así como de análisis de aguas.

3.4.3.1. Descripción del montaje de laboratorio (maqueta de condensador evaporativo).

Se ha construido una maqueta que incluye los componentes principales de un condensador evaporativo, para evaluar la limpiabilidad de los componentes de mayor riesgo de acumulación de suciedad y contaminación microbiológica en los condensadores evaporativos. La maqueta está construida con plancha de metacrilato de 8 mm de espesor.

En esta maqueta (ver Figura 3.1) se presentan los mismos componentes que en un condensador evaporativo:

1. Bomba de recirculación del agua de enfriamiento, de 775 W.
2. Válvula de control de caudal.
3. Tubería de distribución del agua \varnothing 20 mm.
4. Boquillas aspersoras de cono lleno fabricadas en acero inoxidable AISI 316.
5. Vainas de acero inoxidable AISI 316 \varnothing 33 mm con resistencias blindadas de 250 W cada una.
6. Ventilador centrífugo de 150 W.
7. Balsa de recogida de agua.
8. Válvula de drenaje.
9. Rejilla de salida del aire, que dispone antes de un separador de gotas.

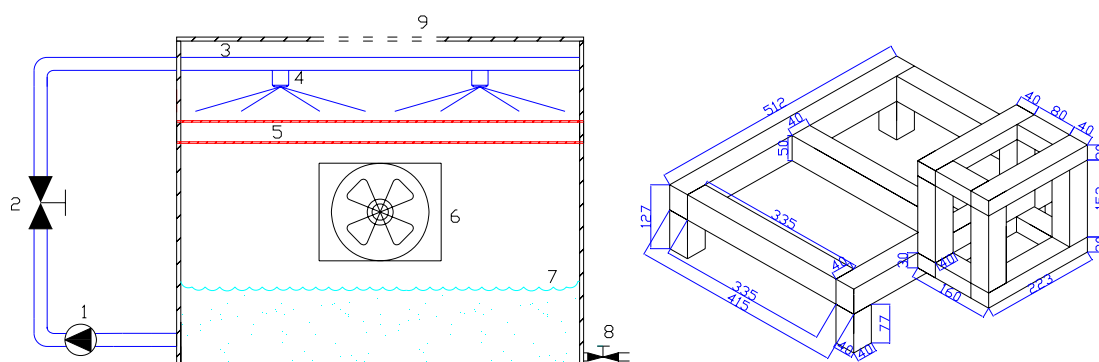


Figura 3.1. Esquema de la maqueta de condensador evaporativo, y bancada que se han construido para ensayos de laboratorio.

Además, a este equipo se le han acoplado diversos elementos de medición y control, como termostatos, termopares y sondas de presión y temperatura que, junto con

las mediciones periódicas de pH, conductividad del agua, velocidad del aire, temperatura y humedad relativa del aire, han servido para controlar el sistema.

3.4.3.2. Test de limpiabilidad.

La limpiabilidad se evaluó ensuciando cada componente con un agente de ensuciamiento que simula la suciedad característica de los condensadores evaporativos.

La presión de trabajo fue de 1,5 bar y un caudal de 26 l/min en cada boquilla de aplicación de la solución de limpieza. Las boquillas estaban separadas 12 cm del separador de gotas, probando además en este caso el tipo de boquillas de cono lleno.

Para el estudio se han utilizado diversos productos de limpieza como el ácido nítrico y el hidróxido sódico, así como otras formulaciones comerciales de detergentes utilizados en los sistemas CIP de la industria alimentaria. Se han probado distintos programas de limpieza.

3.4.3.2.1. Limpiabilidad del separador de gotas.

En la primera prueba se ha evaluado la limpiabilidad de una suciedad orgánica a base de pasta de harina de maíz que se ha aplicado con brocha, y manualmente, en la superficie del separador de gotas y se ha dejado secar hasta formar una costra (ver Foto 3.14.).



Foto 3.14. Aplicación manual de suciedad orgánica sobre el separador de gotas.

3.4.3.2.2. Limpiabilidad de los tubos de intercambio térmico.

En el ensayo de limpiabilidad se ha aplicado una pasta de talco que cubre completamente la superficie de los tubos. Estos tubos son de acero inoxidable AISI 316 que es un material que cumple con los requisitos de diseño higiénico del EHEDG y tiene un buen acabado de superficie (2B) sin rugosidades difíciles de limpiar y que alojen fácilmente la suciedad.

La suciedad se dejó secar antes de realizar la limpieza de los tubos (ver Foto 3.15).



Foto 3.15. Aplicación manual de una suciedad modelo.

Para este componente del condensador evaporativo, probablemente el más problemático debido a la cantidad de recovecos que hay en la batería de intercambio térmico y para este tipo de suciedad, las incrustaciones inorgánicas, se han ensayado distintos productos de limpieza (ver Foto 3.16) y temperaturas con ayuda de un baño termostático con el que se calentaba el agua de lavado.



Foto 3.16. Productos de limpieza utilizados. De izquierda a derecha: ácido nítrico concentrado, detergente nítrico, detergente fosfórico espumante.

3.4.3.2.3. Estudio del ensuciamiento natural del agua y de los tubos en la maqueta de condensador evaporativo.

Se ha utilizado la maqueta de la Foto 3.17. que se ha hecho funcionar de forma similar a un condensador evaporativo (en cuanto a relaciones de caudales y velocidades de aire, fundamentalmente).



Foto 3.17. Maqueta construida para el ensayo en laboratorio.

El sistema ha estado funcionando durante 15 días una media de 5 horas diarias antes de ser sometido a la limpieza y desinfección CIP.

La maqueta se ha llenado con 22 litros de agua que se iba recirculando ($3 \text{ m}^3/\text{h}$), y reponiendo, conforme se evaporaba por efecto de la corriente de aire aplicada por el ventilador con una velocidad de 2,5 m/s.

Al igual que en los condensadores evaporativos en servicio se ha realizado el aporte de desinfectante para controlar la contaminación microbiana, utilizando hipoclorito sódico para lograr en el agua de enfriamiento una concentración de 4 ppm de cloro residual.

Los tubos estaban a una temperatura interior de 80°C similar a la temperatura de descarga del amoniaco en las instalaciones de frío industrial.

La presión de funcionamiento ha sido de 0,5 bar y las boquillas rociaban uno de los tubos con mayor fuerza que al otro, de manera que se ha podido comprobar la importancia de la fuerza de aplicación del agua en la formación de incrustaciones. Ver Foto 3.18.

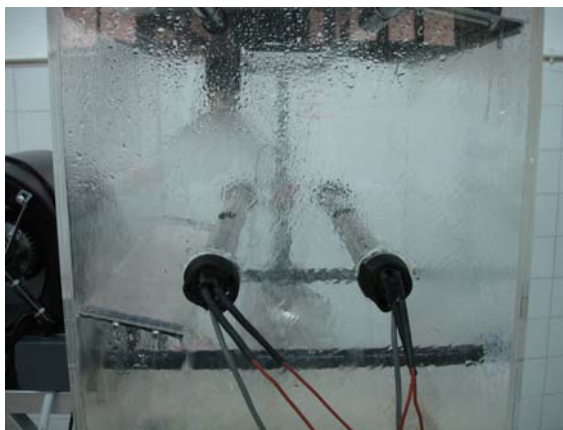


Foto 3.18. Disposición de las boquillas de distribución de agua sobre los tubos calefactados.

El agua de aporte era de una dureza elevada (50°F) y las principales características físico químicas y microbiológicas del agua recirculada, se han ido midiendo periódicamente para completar en profundidad el estudio. Se ha determinado el contenido en cloruros, carbonatos, conductividad eléctrica, pH, dureza y microorganismos totales.

El agua se ha ido concentrando hasta llegar a una conductividad eléctrica de 4500 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Del mismo modo, se han controlado otros parámetros como las temperaturas del aire y del agua, la humedad relativa, y el contenido en cloro libre residual.

Se ha medido con ayuda de un calibre en 4 puntos equidistantes el diámetro exterior de los tubos antes y después de la formación de las incrustaciones.

La aplicación del programa de limpieza CIP se ha realizado según los mismos parámetros de funcionamiento descritos en el apartado anterior.

3.4.3.2.3.1. Test de eficacia de la desinfección.

Siguiendo los criterios de control microbiológico de ambiente y superficies aplicados en la industria alimentaria y las metodologías de validación de la limpiabilidad que se aplican en los equipos con diseño higiénico (AENOR, 1998; Bénézec et al., 2002; Peng et al., 2002; Lelièvre et al., 2002; EHEDG, 2004; AENOR, 2005; Bremer et al., 2006), se ha evaluado la contaminación microbiológica del equipo antes de aplicar el sistema de limpieza y desinfección CIP y después de éste, caracterizando así el éxito del sistema.

El estado microbiológico del agua se evaluó mediante el recuento de microorganismos aerobios mesófilos totales por siembra en placa y homogenización en masa (ver apartado 3.2.2.).

Para medir la eficacia de la desinfección de las superficies se utilizó el método de las placas de contacto Rodac (Scharlab), que da como resultado el número de gérmenes por placa. Se realizaron dos mediciones en cada zona muestreada; tubos de acero inoxidable, y pared de plástico. Las placas se colocaron en contacto con la superficie durante 2 minutos.



Foto 3.19. Placas de contacto RODAC utilizadas durante las pruebas.

El resultado se expresa como UFC/placa y UFC/cm² de superficie. Para este último caso, según el fabricante (Scharlab), una placa de contacto sólo recoge el 0,1% de la flora de las superficies (se considera que una placa Rodac tiene 25 cm²), por tanto el recuento de la placa se divide por 25 y se multiplica por 1000 para poder expresar el resultado en UFC/cm² de superficie estudiada.

3.4.3.2.3.2. Estudio de ambiente.

El muestreo aerobiológico se realizó según el método de impacto, Prince et al. (2002), y utilizando un muestreador “MER MAS-100” (Merck, Darmstadt, Alemania). Se trata de un método aspirométrico de volúmenes conocidos de aire y captación de flora microbiana por impacto sobre un medio específico de cultivo (agar PCA) en placa de petri de 90 mm de diámetro. Se muestrea la flora aerobia mesófila total por metro cúbico de aire. El número total de microorganismos contados (UFC), se modifica basado en la tabla de corrección estadística de Feller's, para convertirlas a partículas contaminantes por metro cúbico. La tabla de corrección está basada en la posibilidad que varios microorganismos entren por el mismo orificio en la tapa perforada a medida que existan más microorganismos en el ambiente a muestrear.

Se tomaron muestras por duplicado en tres puntos distintos: salida del separador de gotas, aire interior de la planta piloto y aire exterior del edificio. Las muestras se tomaron antes de comenzar los ensayos, los días 12, 14 y 15

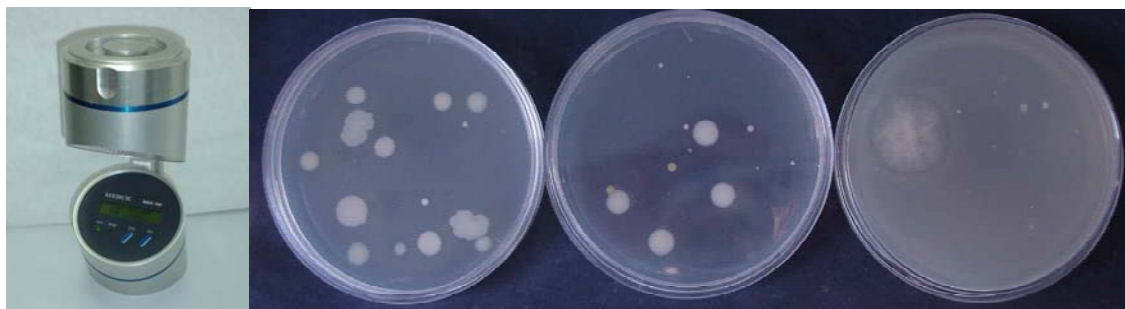


Foto 3.20. Muestreador “MER MAS-100” y algunas de las placas utilizadas.

Como complemento al estudio ambiental se realizó el recuento y clasificación de partículas en suspensión por tamaños en el aire utilizando un contador óptico de partículas portátil (ver Foto 3.21) MET ONE serie 3300 (Met One Instruments Inc., Grants Pass, EE.UU.). Se muestrearon tres zonas: salida del separador de gotas, aire interior de la planta piloto y aire exterior del edificio.



Foto 3.21. Contador óptico de partículas portátil MET ONE.

3.4.4. Test de limpiabilidad de un condensador evaporativo automático e higiénico.

Se trata de evaluar la eficacia del método de limpieza y desinfección CIP acoplado al nuevo tipo de condensador. Para ello se ha utilizado, un análisis visual, al que se le suma el aspecto microbiológico a través de un estudio del agua, las superficies y el aire del equipo.

Se ha elaborado un protocolo adaptado a este tipo de equipo que es similar a los propuestos para equipos de procesamiento de alimentos por el EHEDG (2004) y a los descritos en los trabajos de Bénézech et al. (2002), Peng et al. (2002), Lelièvre et al.

(2002) así como a los métodos descritos en las normas EN 12297 (AENOR, 1998) y UNE 100012 (AENOR, 2005).

Este tipo de test permite, además de evaluar la eficacia, establecer cuales son las mejores condiciones para limpiar y desinfectar, ajustando dosis, distancias de aplicación, temperaturas, presiones, etc., así como visualizar in situ el modo de acción de las posibles boquillas de limpieza a utilizar. Todo ello es extrapolable a un equipo que se ponga en servicio en una instalación frigorífica convencional.

3.4.4.1. Procedimiento de ensayo.

Se contaminaron las superficies del equipo con un indicador. Para esto, se dejó un volumen de agua estancada, pero ligeramente clorada con 2 ppm de cloro libre, durante tres días en el equipo construido. De esta manera el agua se contamina sin la necesidad de añadir ningún microorganismo modelo, utilizándose como tal, el número total de aerobios mesófilos presentes en el agua, superficies y aire expulsado por el equipo.

Para contaminar adecuadamente las superficies internas del equipo y propiciar el desarrollo de biofilms, se hizo recircular el agua estancada durante 30 minutos antes de comenzar el ensayo de limpieza. El equipo funcionó simulando condiciones normales de caudales de agua y aire, para así conseguir una mejor contaminación.

Después de ensuciar y contaminar el equipo, se aplicó el programa de limpieza y desinfección CIP de la Tabla 3.2. El equipo se hizo funcionar según la secuencia descrita en el ANEXO III.

Tabla 3.2. Programa de limpieza y desinfección.

Etapas de trabajo	Detergente / Tª	Concentración %	Duración (minutos)	Vertido
Prelavado intermitente	Agua / 30 °C	-	30	Desagüe
Lavado alcalino	Sol. de NaOH / 30 °C	1	30	Desagüe
Enjuagado intermedio	Agua / 30 °C	-	30	Desagüe
Lavado ácido	Sol. HNO ₃ / 20 °C	1	30	Desagüe
Enjuagado intermedio	Agua / 30 °C	-	30	Tanque de recuperación
Desinfección	Solución de NaClO / 30 °C	5 ppm	30	Desagüe
Enjuagado final	Agua / 30 °C	-	10	Tanque de recuperación

Se detalla a continuación esquemáticamente el protocolo seguido en el condensador evaporativo:

- Se llena de agua y se mojan todas las superficies con agua recirculando.
- Se deja estancada 3 días.
- Se recircula, se toma muestra de ambiente, se toma muestra de agua.
- Se vacía, se toma muestra de superficie, se ensucia con suciedad modelo.
- Se aplica programa de limpieza y desinfección.
- En el enjuagado final se toma muestra de aire, y de agua.
- Se vacía. Se toma muestra de superficies.

Este ensayo se realizó una vez, debido al elevado consumo de recursos y tiempo necesario.

Se realizó el ensuciamiento interior con una suciedad modelo que consistía en una pasta de talco mezclada al 50% (p/p) con agua destilada. La pasta se ha aplicado con brocha por las superficies internas del equipo; separador de gotas, batería de intercambio térmico, techo y paredes y balsa de recogida de agua.

Se realizaron fotografías para constatar el estado inicial de ensuciamiento del equipo y el estado final de limpieza.

Se realizaron análisis de agua para determinar la cantidad de indicador antes y después de aplicar el programa de limpieza y desinfección. El agua se toma de la bandeja de recirculación de agua, siempre, después de recircularla dentro del equipo, primero del enjuagado inicial y después del aclarado final. De esta manera se pone en contacto con las superficies del mismo y sirve como indicador de su contaminación antes y después de la limpieza y desinfección.

Se obtuvo el valor del total de microorganismos por mililitro de agua (UFC/mL), mediante siembra en masa en agar PCA según procedimiento descrito en norma ISO 6222 (AENOR, 1999).

Se realizaron análisis de superficie para determinar la cantidad de indicador antes y después de aplicar el programa de limpieza y desinfección en las superficies internas del equipo.

Se obtuvo el valor del total de microorganismos por placa y por centímetro cuadrado de superficie (UFC/placa; UFC/cm²) con el uso de placas RODAC (Scharlab). Se muestrearon 7 zonas del prototipo.

Se realizaron análisis de ambiente para determinar la cantidad de indicador antes y después de aplicar el programa de limpieza y desinfección.

Se obtuvo el valor de aerobios mesófilos totales por metro cúbico de aire (UFC/m³) con un muestreador de aire por impacto “MER MAS-100” (Merck, Darmstadt, Alemania).

Se realizó el recuento y clasificación de partículas en suspensión por tamaños en el aire utilizando un contador óptico de partículas portátil MET ONE serie 3300 (Met One Instruments Inc.).

PARTE III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

CAPÍTULO 4

Determinación de los Defectos de Diseño Higiénico de los Condensadores Evaporativos Actuales

Parte del texto de este Capítulo ha sido publicado en los trabajos:

- Castaño AM, Hernández ME, López A, Palop, A, (2007) Necesidad del diseño higiénico en torres de enfriamiento y condensadores evaporativos. *Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío*, Oporto, Portugal.
- Castaño AM, Hernández ME, López A, Palop, A, (2007) “Presence of *Legionella pneumophila* in evaporative condensers and its relation with the characteristics of the water”. Proc. 22 *International Congress of Refrigeration, IIR Conference*, Beijing, China.

4.1. INTRODUCCIÓN.

Los condensadores evaporativos son unos de los equipos de enfriamiento con mayor riesgo de proliferación y dispersión de *Legionella*. En ellos el agua es pulverizada sobre una batería de tubos, que contiene un fluido refrigerante caliente, y a través de la cual se hace pasar una corriente de aire ascendente que provoca la evaporación del agua y el consiguiente enfriamiento del fluido refrigerante, arrastrando hacia el exterior gran cantidad de gotas que pueden estar contaminadas.

Los grandes volúmenes de aire movidos por los condensadores provocan la entrada de materia orgánica y otros restos al interior del equipo, donde se desarrollan biofilms.

El uso de productos clorados para la desinfección del agua provoca la corrosión de los materiales del equipo y la elevada concentración de sales del agua de aporte da lugar a la formación de incrustaciones, por lo que la instalación se convierte en un nicho ecológico adecuado para *Legionella*.

La falta de diseño higiénico hace que la contaminación microbiana y el ensuciamiento del equipo sean aún más fáciles de producirse, y dificulta las labores de limpieza de los equipos.

4.2. ANÁLISIS DE LOS PROCEDIMIENTOS ACTUALES DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN.

De acuerdo con los resultados obtenidos de la encuesta realizada (ANEXO I), los métodos utilizados actualmente para la limpieza de los condensadores evaporativos son métodos manuales en el 100% de los casos, realizándose ésta después de desmontar los distintos componentes del condensador.

Estos procedimientos se llevan a cabo a través de empresas externas contratadas, y autorizadas por la autoridad sanitaria regional y con la mínima frecuencia que marca la normativa que regula el mantenimiento sanitario de estos equipos.

Los protocolos de limpieza que se aplican coinciden con el procedimiento estándar estipulado en la legislación aplicable al respecto y que se encuentran en el Anexo 4, punto B del RD 865/2003, de 4 de Julio.

Normalmente se realiza la aplicación de agua por medio de máquinas hidrolimpiadoras a presión transportables (Foto 4.1). Además, al agua se le añaden habitualmente productos desincrustantes o anticorrosivos.



Foto 4.1. Limpieza manual de los separadores de gotas.

En cuanto al procedimiento de desinfección, el más extendido es la dosificación en continuo de un producto biocida junto con otros productos desincrustantes, anticorrosivos y, ocasionalmente, algún biodispersante. Esta dosificación en continuo se realiza mediante una bomba electromagnética de membrana accionada por un magnetotérmico que actúa sobre el mecanismo de impulsión para que envíe un caudal determinado de líquido durante un determinado tiempo y con una frecuencia determinada.

Más pormenorizadamente, se puede decir que el equipo de tratamiento biocida lo componen tres elementos:

1- Una bomba dosificadora (Foto 4.2). El caudal es regulable mediante potenciómetro y permite variar los impulsos entre 1 y 400 por minuto.

2- Un depósito (bidón de plástico, de polietileno de alta densidad) de 50 litros que contiene el producto biocida y los aditivos ya formulados con las concentraciones que se indican en la etiqueta correspondiente.



Foto 4.2. Equipo de dosificación del desinfectante y productos anticorrosivos.



Foto 4.3. Conexión del sistema de desinfección al condensador.

3- Un tubo de impulsión de polietileno blanco opaco que conduce el biocida desde la bomba hasta el equipo a tratar y otro tubo de aspiración que conduce el producto desde el depósito hasta la bomba de impulsión.

En la Foto 4.3 se ve cómo el envío del biocida y de los aditivos se hace a través de unos tubos flexibles de plástico, que vierten la dosificación en la balsa inferior del condensador evaporativo.

Solo en un caso, se ha encontrado como método de desinfección del agua la utilización de tabletas que se utilizan normalmente para piscinas con 4 efectos: bactericida, alguicida, floculante y antical (ver la Foto 4.4). En este caso, la aplicación era de 2 pastillas de 200 g por cada 50 m³ de agua, consiguiendo una cantidad de cloro activo en la disolución de 1,5 ppm.



Foto 4.4. Tableta para desinfección de piscinas, aplicada a uno de los condensadores evaporativos encuestados.

Otro aspecto a destacar es que en 4 de los 10 condensadores estudiados no se realizaba un seguimiento del estado higiénico de los equipos. Así existen medidores manuales electrónicos de pH, conductividad eléctrica, dureza o de cloro libre de muy fácil uso y que podrían dar una idea indirecta de este estado.

Por último, la valoración de los procedimientos de limpieza utilizados que han dado las empresas que contratan este servicio ha sido en general poco satisfactoria. La realidad es que no se consigue una buena eliminación de los restos de suciedad (orgánica e inorgánica) y esto es un riesgo para la proliferación de microorganismos y por su puesto de *Legionella*.

En el ANEXO II se incluyen las tablas que muestran los resultados de las encuestas realizadas sobre 10 condensadores evaporativos industriales, referentes a los procedimientos de limpieza y desinfección.

4.3. ESTUDIO DE LA EFICACIA DE LOS PROCEDIMIENTOS ACTUALES DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN.

Los parámetros físicos y químicos del agua se pueden relacionar con el estado de limpieza del equipo, además de con la calidad intrínseca del propio líquido.

La Figura 4.1 muestra los valores de pH registrados durante los análisis.

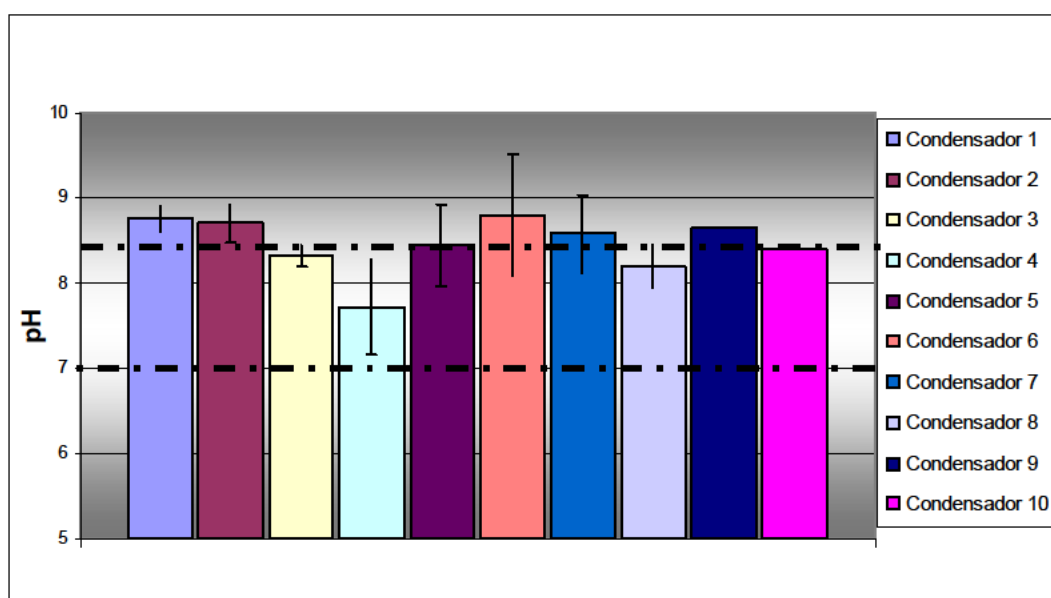


Figura 4.1. Valores del pH del agua de la balsa de los condensadores. (Media de los valores; las barras de error representan la desviación estándar). Las líneas de trazos discontinuos son los límites de los valores recomendables.

Aunque en algunas de las instalaciones se dan valores dentro de los límites recomendables, marcados por las dos líneas de trazos discontinuos, la tendencia general es a presentar unos valores por encima de lo aconsejable, de modo que la alcalinidad de este agua perjudicará a la efectividad del biocida dificultando su acción sobre los microorganismos. Además se observó un aumento del pH incluso después del vaciado, limpieza y desinfección de los equipos.

La utilización de desinfectantes en estos equipos es obligatoria. La desinfección se realiza de forma continua y casi siempre a través de sistemas de dosificación de bombas electromagnéticas. El desinfectante más usado es el cloro, que aunque es barato y eficaz cuando se dan unas condiciones adecuadas de higiene, no está dando buenos resultados en equipos con un mal mantenimiento y limpieza. Además, los niveles adecuados para la desinfección son difíciles de mantener en el agua, esto es porque no se utilizan sistemas totalmente automáticos y la demanda de desinfectante que hay en la balsa para mantener un nivel adecuado de cloro residual libre fluctúa mucho, con lo que el nivel de cloro activo en la balsa del equipo presenta valores muy dispares a lo largo del día. Por este motivo, la mayoría de empresas optan por añadir unas cantidades de desinfectante demasiado altas, que además de ser ineficaces cuando los equipos están sucios, provocan un deterioro físico por corrosión que repercute en la disminución del rendimiento y vida útil del equipo.

La Figura 4.2 muestra la disparidad de valores de desinfectante presente en el agua de cada equipo. Mayoritariamente fuera del rango aconsejado.

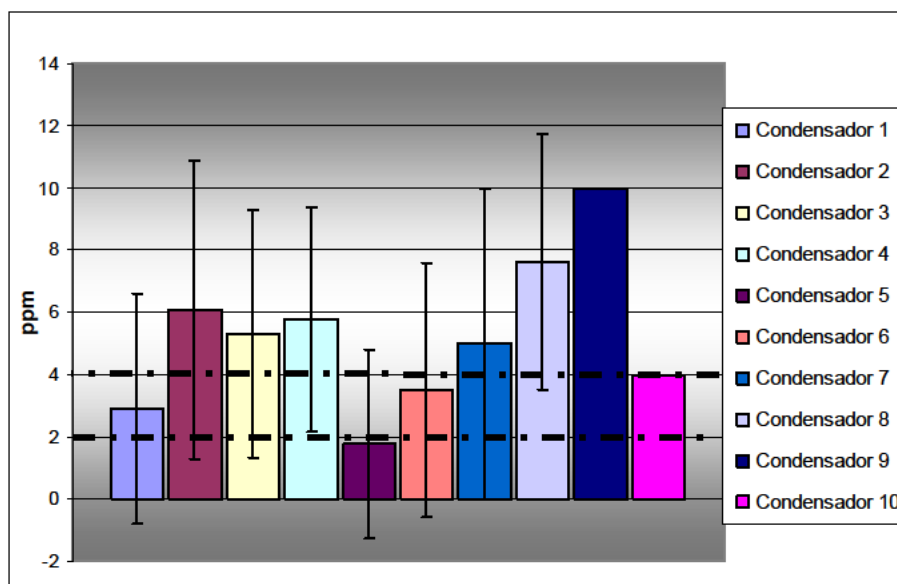


Figura 4.2. Nivel de cloro residual libre presente en el agua de enfriamiento. (Media de los valores; las barras de error representan la desviación estándar). Las líneas de trazos discontinuos son los límites de los valores recomendables.

Los valores de pH y los niveles de biocida observados (Figuras 4.1 y 4.2), junto con la presencia de suciedad orgánica que dificulta la acción bactericida, constituyen un riesgo evidente de cara a la proliferación microbiana dentro de los condensadores.

Se sabe que la temperatura del agua es un factor clave para el desarrollo de *Legionella pneumophila*. En nuestro estudio los valores de temperatura estaban siempre dentro de los rangos de riesgo de proliferación de *Legionella*, (datos no mostrados) por encima de 20 °C (Stout et al., 1985). El equipo donde más positivos de *Legionella* se encontraron es el que mayores valores de temperatura presentaba. Aún así, se observó que si el estado de limpieza es adecuado, una elevada temperatura, no va necesariamente ligada a recuentos elevados de microorganismos en estos equipos.

La Figura 4.3 presenta la conductividad eléctrica del agua de los equipos muestreados.

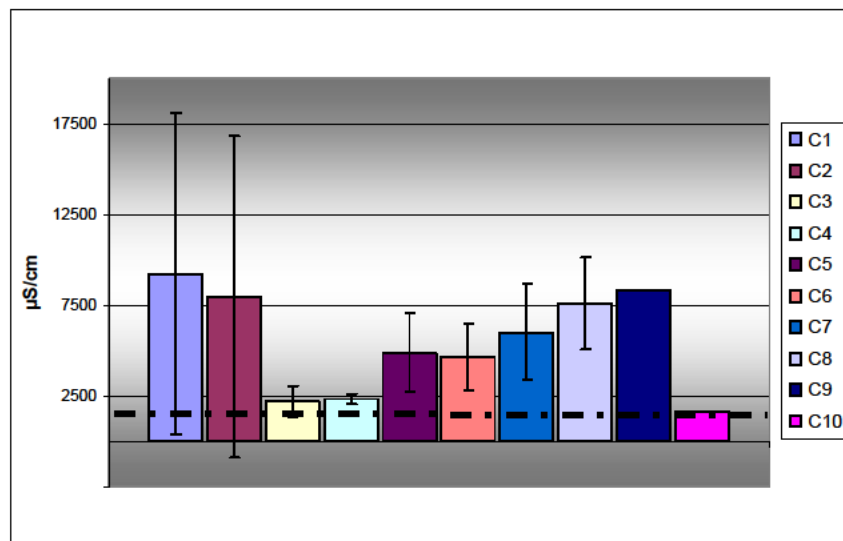


Figura 4.3. Conductividad eléctrica en la balsa de los condensadores. (Media de los valores; las barras de error representan la desviación estándar). La línea de trazo discontinuo es el límite del valor recomendable.

La conductividad eléctrica es una medida indirecta de la cantidad de sales que hay disueltas en el agua, y por lo tanto, ayuda a intuir la calidad del agua como medio de refrigeración del gas en el condensador evaporativo.

Los análisis mostraron valores superiores a los 5000 μS/cm en muchas ocasiones. El límite aconsejable más consensuado entre fabricantes es 2000 μS/cm

(Baltimore, 2005; Evapco, 2000; Sulzer, 2012) y éste valor se superaba en la mayoría de los análisis. El agua de enfriamiento se va evaporando y reponiendo continuamente, quedando dentro del condensador las sales y otros sólidos que estaban disueltos en ella. Con esto se deduce que el agua contiene un importante contenido en sales que producirán incrustaciones y disminuirán el intercambio de calor y por ello el rendimiento general del equipo.

La elevada concentración de sales se produce porque la purga del agua del sistema es insuficiente, evaporándose más agua de la que se repone. El aumento de la concentración salina estará acompañada de una acumulación excesiva de suciedad y materia orgánica, que servirá de alimento a los microorganismos.

Las barras de error en la gráfica son una clara muestra de la dificultad de mantener este parámetro dentro de unos valores aceptables en los condensadores actuales que en su mayoría no están dotados de sistemas de monitoreo en continuo. Los equipos que poseían medidores de la conductividad para, en base a ella, purgar el agua del sistema, presentaban mejor estado de limpieza que los demás. Este parámetro es de suma utilidad, ya que empleándolo de forma adecuada, ayudará a mantener el equipo más limpio, disminuyendo la acumulación de sólidos disueltos y de materia orgánica y con ello el crecimiento microbiano. Además se producirán menos incrustaciones en el equipo lo que hará que *Legionella* tenga menos refugios dentro de él. Como contrapartida, en zonas donde la dureza del agua sea elevada, un sistema de purga controlado por la conductividad conllevará un gran consumo de agua.

La Figura 4.4 muestra los valores que se presentaron en las muestras analizadas de todos los condensadores. Los sólidos totales constituyen el contenido total de sales y materia orgánica presentes en el agua, tanto disueltos como en suspensión.

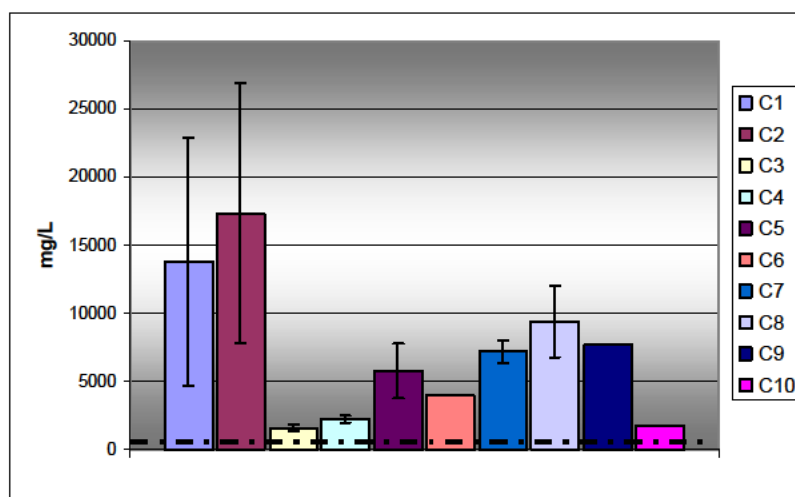


Figura 4.4. Residuo seco obtenido en el agua de cada condensador durante el estudio. (Media de los valores; las barras de error representan la desviación estándar). La línea de trazo discontinuo es el límite del valor recomendable.

Los condensadores presentaban valores elevados de sólidos totales incluso después de ser limpiados con métodos manuales usando máquinas de alta presión, superando de este modo el límite aconsejado de 500 mg/L (Baltimore, 2005; Evapco, 2000; Sulzer, 2012). Estos residuos presentes en el agua disminuyen la eficacia del bactericida e inducen un mayor deterioro de los equipos disminuyendo su vida útil. Además, sirven de alimento a los microorganismos que colonizan las superficies de los condensadores.

Parece, por tanto, que los métodos de limpieza utilizados no son eficaces para disminuir lo suficiente la suciedad de los equipos. El mal mantenimiento, limpieza e higiene de los condensadores quedó reflejado también en otros parámetros estudiados. En general el agua poseía una dureza muy elevada, llegándose a registrar valores de 530 °F (Figura 4.5.). Esto demuestra su tendencia a la formación de incrustaciones, donde, la suciedad y microorganismos quedarán retenidos, y de dónde será más difícil limpiarlos y eliminarlos.

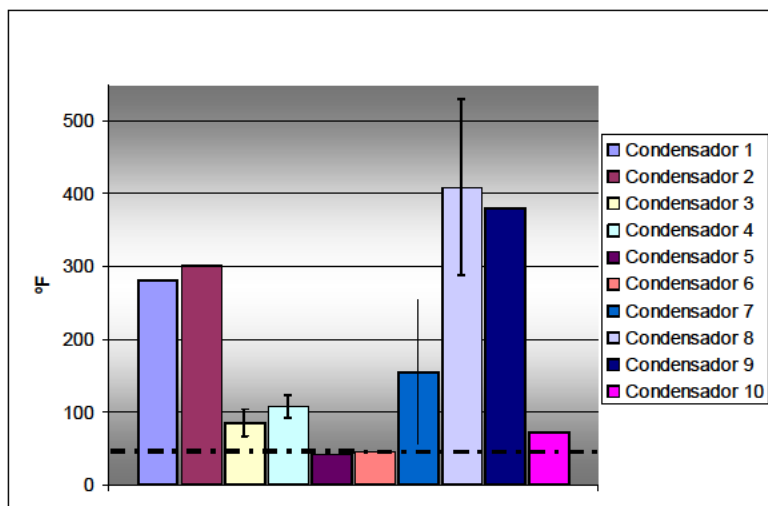


Figura 4.5. Dureza del agua recogida en la balsa de los condensadores. (Media de los valores; las barras de error representan la desviación estándar). La línea de trazo discontinuo es el límite del valor recomendable.

Por otro lado la presencia de cloruros acelera el proceso de corrosión del acero. El 50% de los valores se encontraban entre 3000 y 4000 ppm de cloruros y además el 100% de los valores medidos era superior al aconsejable (Figura 4.6.).

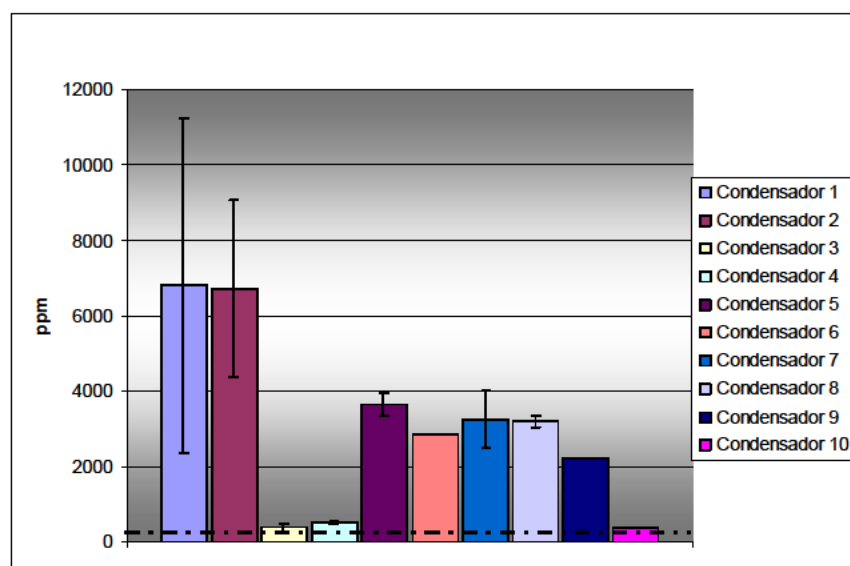


Figura 4.6. Cantidad de Cloruros presente en el agua de los condensadores. (Media de los valores; las barras de error representan la desviación estándar). La línea de trazo discontinuo es el límite del valor recomendable.

Los productos de la corrosión (óxidos) serán una fuente extra de nutrición para los microorganismos que seguirán proliferando siempre que se den estas condiciones propicias. Así, la corrosión del equipo se manifestará de diferentes maneras inclusive

llegando a perforar el paquete de tubos de intercambio térmico por donde se producirán pequeños escapes de gas que disminuirán el rendimiento del equipo.

Manganeso y magnesio, junto con el cinc y el hierro son elementos básicos para el desarrollo de *Legionella*. Sin embargo, los requerimientos de hierro y cinc son más importantes (Reeves, 1981), lo cual explica parcialmente el riesgo de proliferación de la bacteria en los condensadores evaporativos y torres de refrigeración fabricados en acero galvanizado, frente a otros materiales más adecuados.

El hierro es conocido como un nutriente esencial para el crecimiento de *Legionella pneumophila* y las bacterias gram-negativas necesitan por lo general una concentración 0,8 –1,8 μM de hierro (James et al., 1995). *Legionella* es capaz de nutrirse inclusive en ambientes deficientes en hierro, de modo que hasta una concentración de 0,056 ppm de hierro le sería suficiente (Devos et al., 2005), además cuenta con la capacidad de alimentarse usando agentes quelantes (Liles et al., 2000).

Según los resultados obtenidos, el hierro aparecía por encima de los límites aconsejables (datos no mostrados) y además, siempre que en un equipo se detectó *Legionella pneumophila* los niveles de hierro eran superiores a 0,1 ppm.

Otra manera de conocer la limpieza de un agua sería midiendo su turbidez. La turbidez está causada por la presencia en el agua de partículas en suspensión que disminuyen su claridad, tales como materia orgánica, microorganismos, limos y arcillas. Se expresa en Unidades Nefelométricas de Formacina (UNF) o en Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT). La turbidez se puede relacionar con la presencia de biofilms y microorganismos patógenos. Dado que muchos microorganismos se adsorben o aglomeran en las partículas en suspensión presentes en el agua, los agentes desinfectantes no siempre pueden acceder a ellos para destruirlos, de modo que la eficacia del proceso de desinfección pasa por conseguir una agua con poca turbidez.

Según la ASHRAE (1999), la turbidez en el agua usada en los sistemas HVAC debe ser tan baja como sea posible. No obstante, la ley (RD 865/2003, de 4 de Julio) establece un máximo de 15 UNF en este parámetro para las torres de refrigeración y los condensadores evaporativos, que se superó en el 20% de los análisis. La Figura 4.7

muestra los valores medios medidos en cada equipo. El valor de 5 UNT (línea de trazo discontinuo) es el más consensuado entre fabricantes para disponer de un agua con una calidad adecuada. Se observa claramente como este valor se rebasa en la mayoría de los equipos.

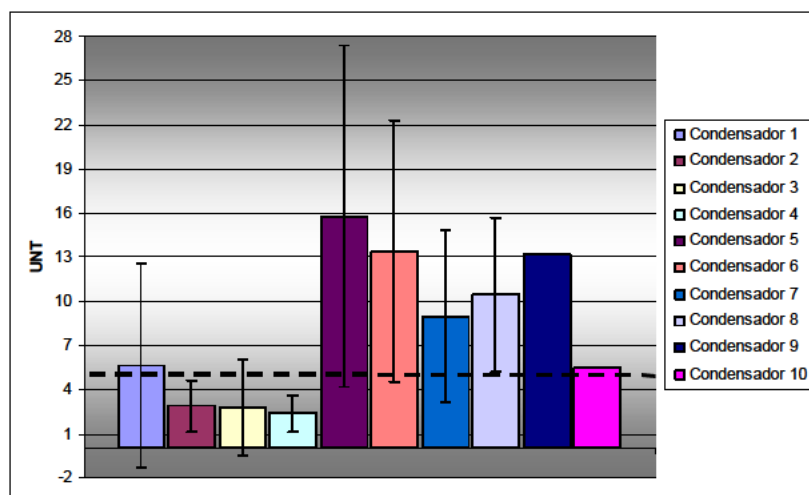


Figura 4.7. Turbidez en el agua de los condensadores. (Se presentan las medias de los valores observados, con las barras de error correspondientes).

Un factor que promueve el crecimiento de *Legionella* es el carbono orgánico total (USEPA, 1999). La presencia del mismo indica que existen nutrientes para el crecimiento del microorganismo. Este parámetro, mide la cantidad de biomasa en el agua y sirve como indicador del bioensuciamiento, del riesgo de aparición de biofilms y de su extensión. Además, una concentración de carbono orgánico elevada hace que la desinfección sea ineficaz. En la Figura 4.8 se muestra la media de los valores para todos los condensadores evaporativos. El valor máximo que los fabricantes recomiendan en el agua de estos equipos es de 14 ppm, el cual fue superado en el 55% de los análisis. Los valores de este parámetro aumentaron después de realizar la limpieza y desinfección periódica de los equipos, lo que indica que al menos parte del material del biofilm presente en las superficies de los equipos fue resuspendido en el agua y por lo tanto la limpieza no fue eficaz.

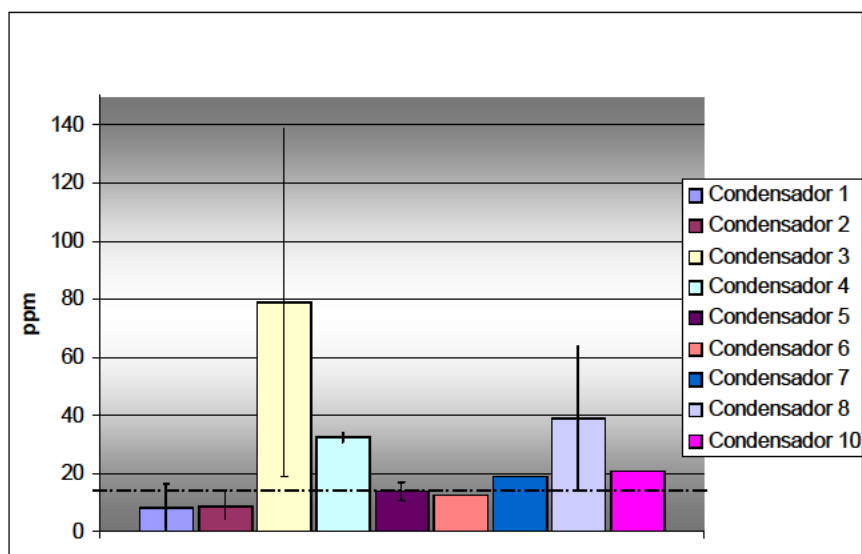


Figura 4.8. Carbono orgánico total en el agua de los condensadores. (Se presentan las medias de los valores medidos, con las barras de error correspondientes).

En lo que a microbiología se refiere, la mitad de las instalaciones muestreadas nunca llegaron a presentar unos recuentos recomendables de microorganismos aerobios totales a lo largo de todo el estudio, y el 61% de los análisis realizados superaban el nivel máximo aconsejado (10^4 UFC/ml).

En la Figura 4.9 se presentan los valores de microorganismos aerobios de las aguas de enfriamiento.

La limpieza de los equipos no afectó eficazmente a la eliminación de microorganismos, ya que los recuentos de aerobios aumentaron después de la misma en el 56% de los análisis.

Por tanto, se pone de manifiesto la ineficacia de los sistemas de limpieza y desinfección utilizados para combatir la *Legionella*. Estos métodos, si se realizan de forma inadecuada, pueden hacer incluso que aumente la concentración de *Legionella* en el agua debido a que los biofilms no son eliminados completamente (Kramer y Ford, 1994).

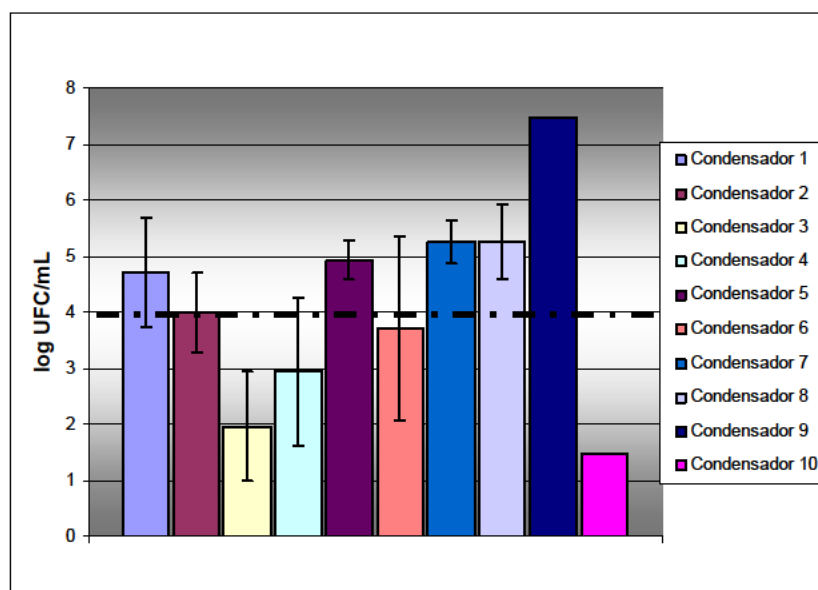


Figura 4.9. Evolución del número de microorganismos aerobios en el agua de los condensadores. (Se presentan las medias de los valores observados, con las barras de error correspondientes. La línea de trazos discontinuos representa el límite legal establecido).

Los equipos evaporativos mostraban la presencia de protozoos en todas las instalaciones investigadas (datos no mostrados). Los protozoos son microorganismos resistentes a los biocidas (McCoy, 1998), y además las amebas presentes en el agua de los equipos evaporativos tratados con bactericidas son más resistentes que las que se encuentran en otros hábitats (Srikanth, 1994). Como se sabe, *Legionella* puede multiplicarse intracelularmente dentro de protozoos (Vandenesch et al., 1990). Esta problemática está presente en todas las instalaciones estudiadas y demuestra en parte el alto riesgo de aparición de *Legionella pneumophila* en los condensadores evaporativos y dispositivos análogos.

Legionella pneumophila se detectó en algunas de las instalaciones, asociada en todos los casos a la presencia de amebas o de otros protozoos que pueden ser simbioses con la bacteria. Además se detectó la presencia de algas que pueden promover el crecimiento de *Legionella* (Lee y West, 1991).

Recuentos de aerobios totales inferiores a 10^4 UFC/ml no aseguran que no exista riesgo de *Legionella*. En aguas de condensadores que presentaban estos valores aconsejables de microorganismos se encontraron colonias sospechosas de pertenecer al

género *Legionella*, ya que el cultivo en placas de medios selectivos GVPC mostraba el crecimiento de colonias características de *Legionella* spp.

Por otro lado un recuento elevado de aerobios no está necesariamente ligado a la presencia del patógeno en el agua. Las placas de medios de cultivo selectivos han llegado a no presentar casi crecimiento en muestras de aguas en las que se daba un recuento de aerobios muy elevado.

El crecimiento en placa de colonias sospechosas de *Legionella* no siempre se ratificó con los test comerciales presentes en el mercado cuyo espectro de análisis está limitado, pero la aparición de estas colonias siempre estuvo ligada a la presencia de amebas y a una mala calidad del agua, reflejo del mal estado higiénico de los equipos. También a la existencia de temperaturas a las que este microorganismo puede crecer.

El control de estos equipos se realiza por empresas de mantenimiento sanitario que, a la vista de los resultados, deben mejorar la calidad de los servicios que prestan. Problemas como el mal uso de los productos químicos, los fallos de los sistemas de dosificación, una limpieza del equipo inadecuada, o análisis de aguas poco certeros deben ser solucionados.

4.4. ANÁLISIS FÍSICO DEL DISEÑO HIGIÉNICO DE LOS CONDENSADORES EVAPORATIVOS ACTUALES.

El estudio que se presenta en este apartado pone de manifiesto los defectos de diseño higiénico de los condensadores evaporativos actuales, a la vista de las Guías del Grupo Europeo de Ingeniería y Diseño Higiénico (EHEDG) que es la organización principal que existe en Europa encargada de dicho tema, así como de algunos de los trabajos mas relevantes en la materia (EHEDG, 1993; Rosset, 2002; EHEDG, 2004a; EHEDG, 2004b; EHEDG, 2005; Schmidt y Erickson, 2005; EHEDG, 2006).

Se puede decir que el diseño de un condensador evaporativo o de cualquier enfriador evaporativo, se considerará “higiénico” si incorpora con carácter preventivo, características de diseño y constructivas que reducen o minimizan el riesgo de constituir una fuente de contaminación microbiana del agua, tanto de forma directa como

indirecta. Por ello, en el ámbito del diseño higiénico de equipos e instalaciones de la industria alimentaria, se consideran factores críticos los materiales de construcción del equipo, el acabado de las superficies de contacto con el agua, la drenabilidad total del equipo, la hermeticidad o cierre frente a contaminaciones procedentes del exterior, o la accesibilidad o garantía de limpieza y desinfección de todas las superficies del equipo, entre otros.

Los errores o deficiencias en el diseño higiénico de estos equipos provocan la contaminación del agua y dificultan las tareas de mantenimiento, limpieza, y desinfección.

La consecución de un buen estado de limpieza y desinfección de estos equipos conducirá a un mejor funcionamiento y rendimiento térmico de los mismos, a una prolongación de su vida útil, y a la protección de la salud de las personas que pueden verse afectadas por los microorganismos patógenos dispersados por los condensadores evaporativos al aire.

4.4.1 Defectos de diseño higiénico de los componentes de los condensadores evaporativos.

En este apartado se presentan los defectos de diseño higiénico de cada uno de los componentes del equipo, así como las recomendaciones generales y de detalle que se deben aplicar, para garantizar un buen diseño higiénico y una buena aptitud para la limpieza, que permita limitar la contaminación microbiana y finalmente reducir hasta niveles mínimos el problema tan grave, que es la presencia y diseminación del patógeno *Legionella pneumophila*.

4.4.1.1. Ventilador.

El eje y las palas deben ser fácilmente desmontables y limpiables, y poseerán superficies totalmente lisas, para facilitar la limpieza y la desinfección. La Foto 4.5 muestra un ventilador para la aspiración del aire que presentará algunas dificultades para el desmontado y limpieza. La solución de la tornillería, expuesta directamente al ambiente, y de las palas, que se unen dando lugar a zonas de fácil ensuciamiento y

difícil limpieza, constituye un claro riesgo de higiene ya que se puede alojar suciedad difícil de limpiar. En las Fotos 4.6 y 4.7 se aprecian tornillos que están expuestos a salpicaduras y con un mal diseño higiénico, ya que una vez colocados deben estar enrasados con su soporte y no constituir ni un saliente ni un entrante.

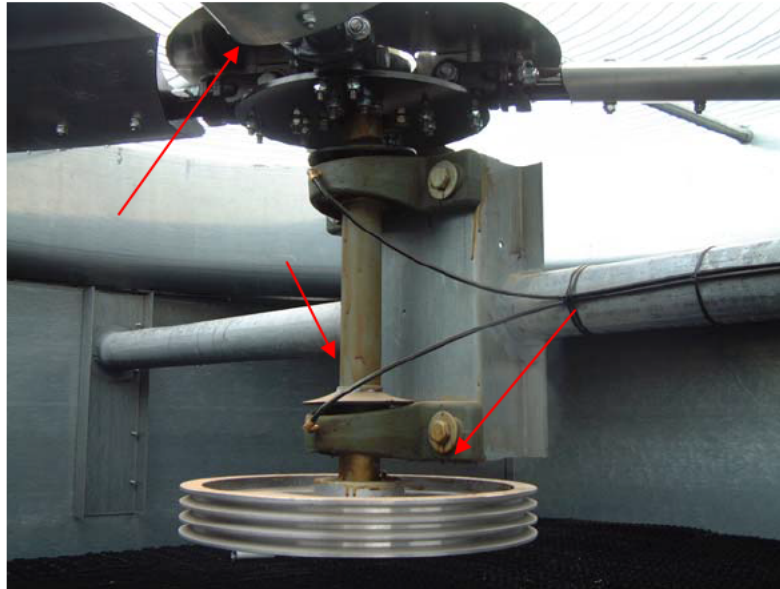


Foto 4.5. Ventilador axial de condensador evaporativo.



Foto 4.6. Tornillos salientes en la zona de alojamiento del ventilador axial.



Foto 4.7. Zona de alojamiento de un ventilador centrífugo con detalles de diseño no higiénico.

4.4.1.2. Separador de gotas.

Este componente debe ser diseñado para evitar que se arrastre (en forma de gotitas) menos del 0,05 % del caudal de agua en circulación en el interior del condensador evaporativo. Si su concepción es tal que permite la acumulación de suciedad en zonas muertas difíciles de limpiar, donde pueden desarrollarse biofilms, o formarse incrustaciones en su superficie (Foto 4.8), se convertirá entonces en una fuente más de contaminación. Además la estructura y montaje de este separador de gotas debe ser tal que facilite la limpieza del mismo, y no dificultarla, por formar entramados difíciles de limpiar como se muestra en la Foto 4.9, que además ni siquiera es eficaz en su labor principal.



Foto 4.8. Separador de gotas tipo lamas, con zonas difíciles de limpiar.



Foto 4.9. Separador de gotas tipo malla.

4.4.1.3. Distribuidor de agua - Boquillas de rociado.

En la Foto 4.10, se ven las zonas ciegas en los soportes del colector de agua de distribución a las boquillas de rociado, en las que fácilmente se puede acumular suciedad y en las que será difícil conseguir una buena limpieza. Además los perfiles de la estructura soporte deben permitir el escurrido del agua y no formar zonas con ángulos donde pueden quedar residuos difíciles de eliminar por no tener drenado, tal como se ve en la Foto 4.11. Estos soportes deben ser de un material que soporte la acción química agresiva del agua, y no de acero galvanizado.

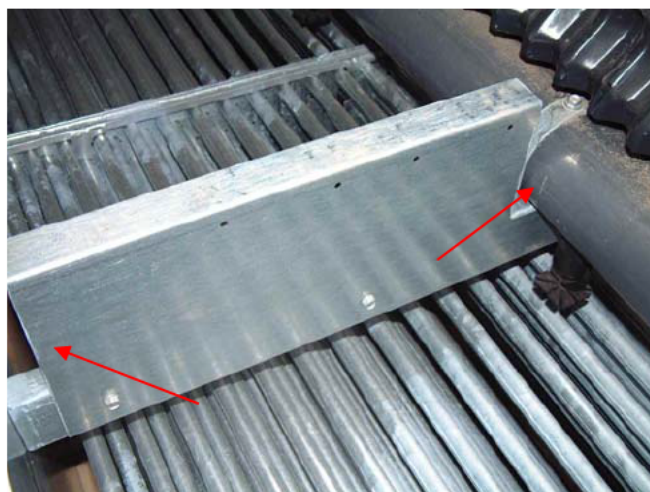


Foto 4.10. Detalle del soporte del distribuidor de agua.

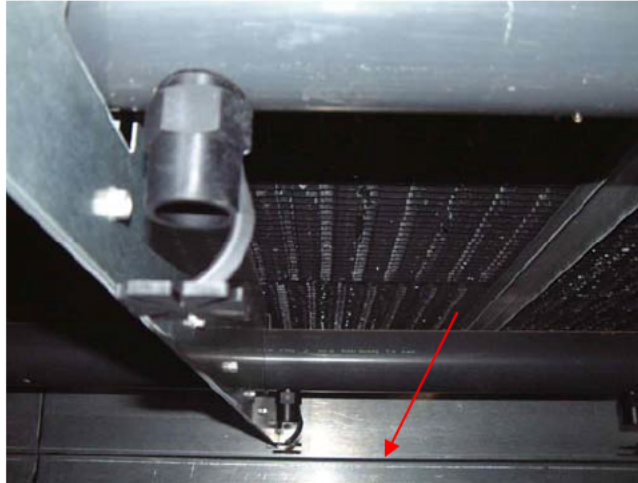


Foto 4.11. Perfiles soporte del distribuidor de agua y boquillas.

4.4.1.4. Paquete de tubos de intercambio de calor: tubos, soporte, colectores.

Sobre estos tubos se aplica directamente el agua para enfriar el gas del fluido frigorígeno que circula por su interior. Es pues muy importante que se utilicen materiales que resistan la corrosión y que tengan un buen acabado de superficie que facilite la limpieza. Estos son los dos factores clave, la naturaleza del material y su rugosidad superficial. En la Foto 4.12 se aprecian los efectos de la corrosión sobre el paquete de intercambio por el uso de materiales inadecuados (acero galvanizado). Las superficies de los tubos (Foto 4.13) deben ser lisas y pulidas, sin rugosidades ni asperezas que dificulten su limpieza y desinfección. Los soportes de la batería tampoco deben propiciar la acumulación de suciedad (Foto 4.13B) ni entorpecer la limpieza ocultando superficies (Foto 4.13C).



Foto 4.12. Incrustaciones y corrosión del paquete de tubos de intercambio de calor entre el agua y aire y el gas de fluido frigorígeno.

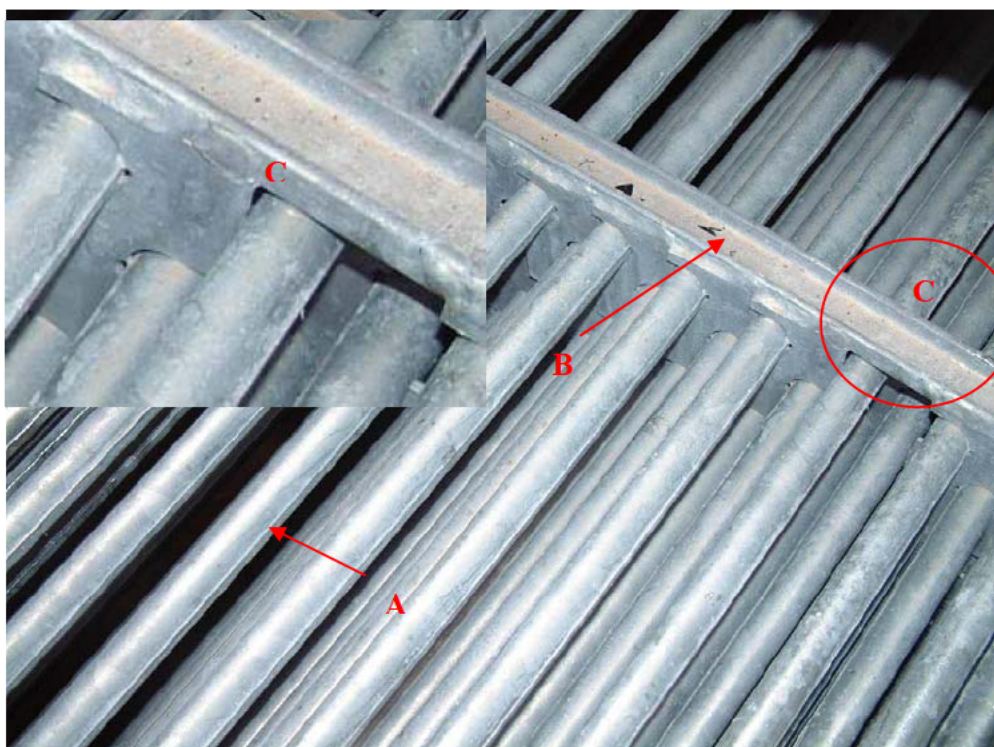


Foto 4.13. Defectos de diseño higiénico en la batería de tubos.

4.4.1.5. Carcasa de cerramiento: paredes, compuertas de revisión, soportes, arriostramientos.

La disposición de los perfiles de soporte (estructura del condensador) de forma que puedan alojar suciedad difícil de limpiar (Foto 4.14A) es otro de los defectos de diseño higiénico de los condensadores actuales. El uso de medios de fijación, como los

tornillos, debe presentar una solución aceptable, y no constituir una zona de retención de suciedad Foto 4.14B.

Los encuentros entre superficies no deben ser, en la medida de los posible, en ángulo recto (Foto 4.15). El encuentro entre dos planos debe realizarse según un radio superior o igual a 3,5 mm, (Figura 4.10). Otra forma de solucionar este encuentro es según un ángulo superior o igual a 135° , uniendo varias chapas por soldadura y con un chaflán entre dos pliegues superior o igual a 7 mm. El ensamblado final de las superficies debe permitir al agua y sustancias de limpieza escurrir hacia un punto de evacuación previsto para este fin, sin encontrar obstáculos susceptibles de retenerlos.

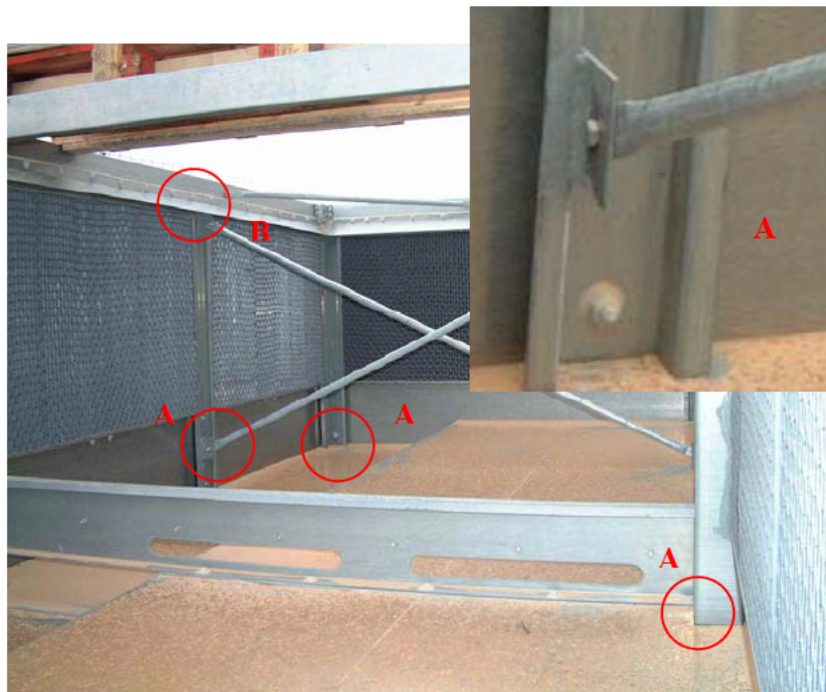


Foto 4.14. Defectos de diseño en la carcasa de un condensador evaporativo.



Foto 4.15. Soporte y arriostramientos de la carcasa.

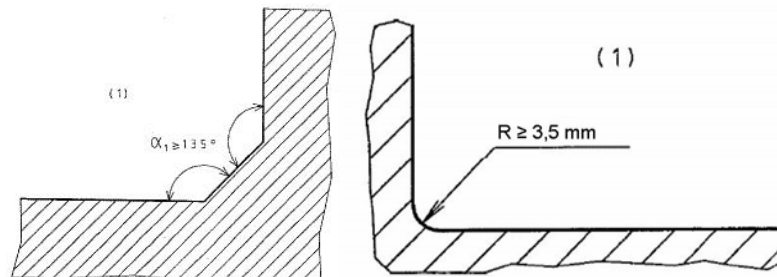


Figura 4.10. Soluciones de diseño higiénico para el encuentro entre superficies. (1) Zona en contacto con el agua del condensador (Fuente: Rosset, 2002).

4.4.1.6. Rejillas de entrada de aire.

Estos elementos deben, además de permitir la entrada de aire al interior del equipo, diseñarse de manera que se proteja al condensador de la entrada de elementos extraños que ensucien y contaminen el agua. La luz solar, los restos orgánicos, y otras materias sólidas que sirvan de alimento microbiano y disminuyan la calidad del agua deben evitarse con diseños a tal efecto. De lo contrario, la formación de algas, fangos y biofilms se verá favorecida, con el consiguiente riesgo de desarrollo de bacterias patógenas. En la Foto 4.16 se presenta un diseño que aunque dificulta la entrada de luz solar, dispone de una cara interior, en contacto con el agua rociada en el condensador, llena de zonas con huecos donde la suciedad se aloja con facilidad y al mismo tiempo es difícil de limpiar. Por otro lado la Foto 4.17, muestra un diseño que no supone ningún impedimento a la entrada de luz y contaminantes exteriores, lo que da como resultado

que en breves periodos de tiempo posteriores a la limpieza, la bandeja de recogida de agua muestre un aspecto como el de la Foto 4.18.

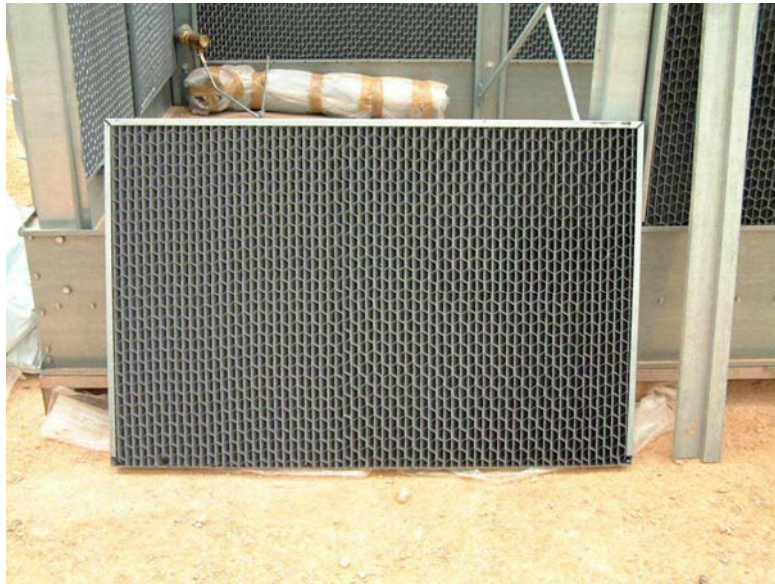


Foto 4.16. Rejillas de entrada de aire con un diseño que dificulta la entrada de luz y materias extrañas.



Foto 4.17. Rejilla de entrada de aire que no cumple con un diseño higiénico.



Foto 4.18. Fangos y algas en un condensador evaporativo en servicio.

4.4.1.7. Filtro, balsa y válvula de flotador.

Deben estar realizados en materiales resistentes a la corrosión y que no favorezcan el desarrollo microbiano. No deben tener un diseño que propicie las acumulaciones de suciedad (Foto 4.19 y Foto 4.20). No deben existir grietas y huecos entre las juntas. Estas juntas deben tener la suficiente resistencia para que durante los calentamientos y enfriamientos no se produzcan huecos.



Foto 4.19. Válvula de flotador.



Foto 4.20. Filtro y válvula de flotador.

4.4.1.8. Bandeja de recogida de agua.

Se ha de diseñar con fácil acceso para su posterior inspección y limpieza. El material de construcción debe ser el adecuado, de manera que se evite la corrosión y las incrustaciones. Deberán estar diseñadas y construidas sin ángulos ni rincones, con pendiente mínima del 1% que facilite el vaciado y con válvula de drenaje en la cota inferior. Para facilitar la limpieza CIP (cleaning in place) debe cuidarse especialmente la rugosidad interior de las superficies. En la Foto 4.21, se ven los defectos en el diseño de la balsa inferior, de naturaleza del material, acabado superficial, y falta de autodrenado. Por ello, sus superficies se ensucian fácilmente y se acumulan desechos en el suelo, sin posibilidad de poder eliminarlos al no poder drenarse completamente el equipo. La Foto 4.22 muestra una bandeja con encuentros en ángulos recto.

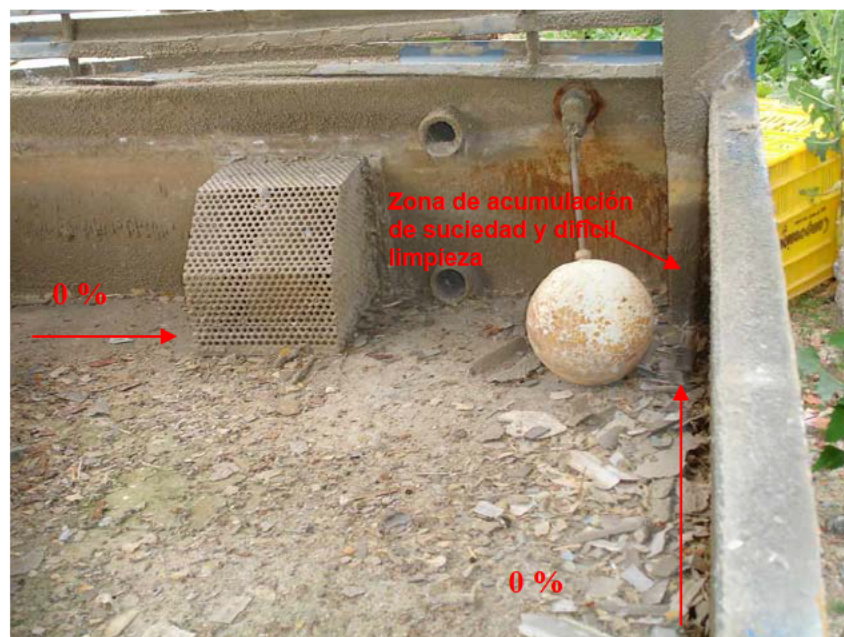


Foto 4.21. Defectos de diseño higiénico de la bandeja o balsa inferior de recogida de agua.

Los ángulos internos y rincones deben poder limpiarse y desinfectarse con efectividad. Así, los encuentros entre 3 planos se realizarán con uniones redondeadas de radio mínimo 7 mm, y los otros dos, redondeados con un radio mínimo de 3,5 mm (Figura 4.11). Otra solución de diseño higiénico es el encuentro según ángulos de 135°, siendo la cota entre 2 pliegues superior o igual a 7 mm (Figura 4.12).



Foto 4.22. Bandeja de recogida de agua sin encuentros redondeados.

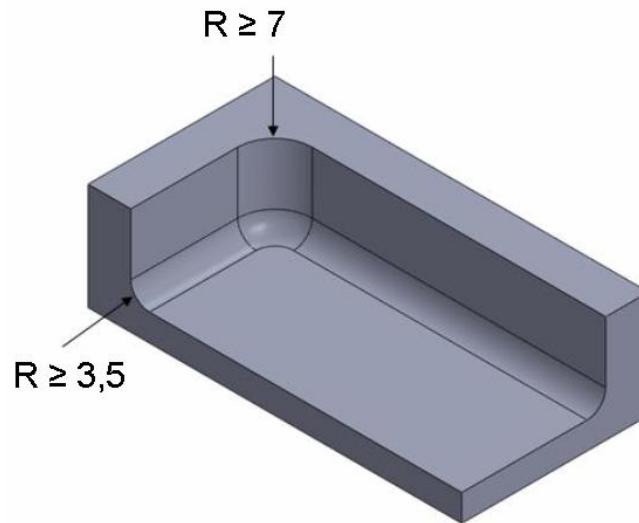


Figura 4.11. Solución de diseño higiénico para el encuentro de superficies entre 3 planos. Encuentros redondeados.

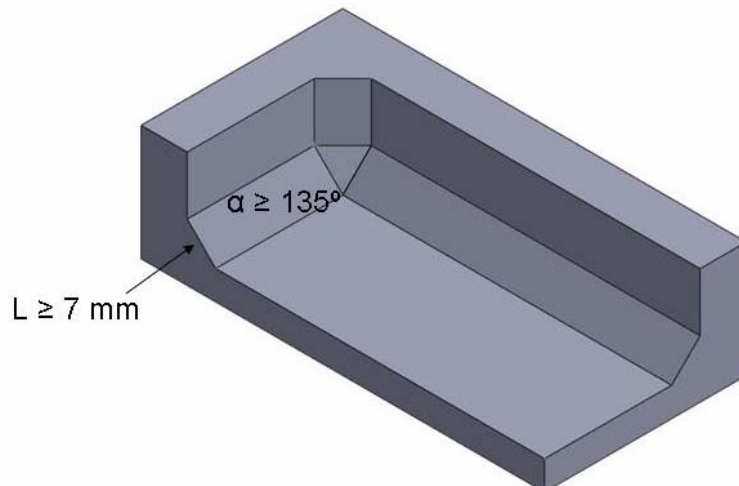


Figura 4.12. Solución de diseño higiénico para el encuentro de superficies entre 3 planos.

Otra utilidad de tener una adecuada pendiente y un desagüe suficiente es que permite el rápido vaciado y minimiza el tiempo de la operación de limpieza.

4.4.1.9. Bomba de impulsión.

La mayoría de las bombas tienen un diseño fundamentalmente hidráulico y mecánico, descuidando el aspecto higiénico (Foto 4.23). Para el caso de los condensadores evaporativos las bombas deben tener las siguientes características. La superficie en contacto con el agua (cuerpo y rodete) debe ser pulida, preferentemente de acero inoxidable. Se evitarán zonas muertas de flujo para evitar posibles acumulaciones de suciedad, deben ser fácilmente desmontables, y tener un número reducido de piezas,

los rodamientos deben estar fuera del contacto con el agua enfriamiento, de fácil drenaje (Foto 4.24 y Figura 4.13), y preferiblemente con acabado externo en acero inoxidable (EHEDG 2004b).



Foto 4.23. Bomba centrífuga con un mal diseño higiénico.



Foto 4.24. Bomba centrífuga montada para facilitar su vaciado.

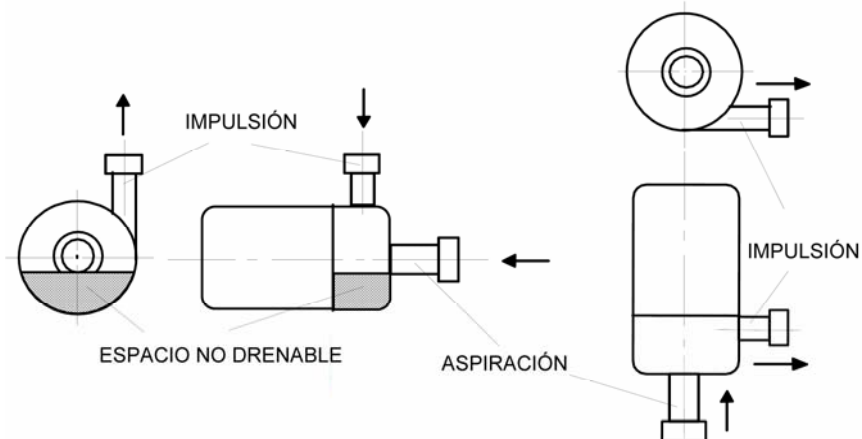


Figura 4.13. Montaje para conseguir un buen drenado de la bomba.

4.5. CONCLUSIONES.

Los métodos de limpieza utilizados en los condensadores evaporativos actuales no son eficaces. La limpieza de los condensadores evaporativos en servicio se lleva a cabo a través de métodos 100% manuales que no son lo suficientemente exhaustivos ni frecuentes como para eliminar el gran ensuciamiento por fangos, lodos, incrustaciones, biofilms y otras materias extrañas que acaban por propiciar un adecuado nicho ecológico para *Legionella*.

Los análisis físico-químicos realizados, han mostrado que el agua de las instalaciones no cumple con los requisitos establecidos de limpieza y desinfección.

Se ha detectado la presencia de protozoos y algas en todas las instalaciones muestreadas.

Los recuentos de aerobios mesófilos han superado 10^4 UFC/mL en dos terceras partes de los análisis realizados. Nos obstante, no se ha encontrado una correlación entre la presencia de *Legionella* y el número de aerobios mesófilos.

Los análisis mostraron como a pesar de que todas las instalaciones estaban sometidas a un tratamiento preventivo de desinfección y limpieza contra *Legionella pneumophila*, aparecieron casos de presencia de es microorganismo.

Los condensadores evaporativos actuales no presentan un diseño higiénico, siendo en gran medida la causa de la ineficacia de los métodos de limpieza utilizados.

Los principales problemas de diseño higiénico son: el uso de materiales de construcción inadecuados, una disposición incorrecta de las superficies internas de los equipos que propicia la acumulación de suciedad, la inexistencia de un adecuado sistema de drenaje de la balsa inferior, y la excesiva rugosidad en la pared externa de los tubos galvanizados del condensador evaporativo. Todo esto impide mantener unos mínimos niveles de limpieza y desinfección que eviten la proliferación microbiana en el agua usada por el condensador.

Como consecuencia de todas estas conclusiones, se puede inferir que el diseño higiénico de los condensadores debe realizarse en base a un sólido conocimiento de microbiología, ingeniería de procesos y mecánica, adoptándose éste en la fase inicial de desarrollo y concepción del equipo. Las buenas prácticas en la ingeniería de diseño y en el mantenimiento de los equipos conseguirán controlar el patógeno y evitar la transmisión de la enfermedad.

CAPÍTULO 5

Desarrollo de un Sistema Automático de Limpieza y Desinfección

Parte del texto de este Capítulo ha sido publicado en el trabajo:

- López-Gómez A, Castaño-Villar AM, Hernández-Hernández ME, Palop A (2011) Innovative Evaporative Coolers, Cooling Towers and Evaporative Condensers, with Hygienic Design. Proc. *23rd IIR Int Congress of Refrigeration*, Prague. Czech Republic.

5.1. INTRODUCCIÓN.

Para realizar una buena limpieza y desinfección se debe realizar un estudio previo analizando los siguientes parámetros (Wildbrett, 2000):

- Suciedad: clase, estado y cantidad.
- Objeto a limpiar: forma, material y rugosidad.
- Etapas a realizar: preenjuague, limpieza con detergente, enjuague, desinfección con desinfectante, enjuague y secado.
- Productos a emplear: tipo, modo de aplicación, temperatura, tiempo de contacto y dosificación.
- Periodicidad de la limpieza y desinfección.

La limpieza automática “in situ” o Cleaning In Place (CIP), es una técnica ampliamente utilizada en las industrias alimentarias así como en otras como la farmacéutica o la química. Se trata de una limpieza automatizada del equipo sin desmontarlo a través de una red de tuberías, depósitos y surtidores que aplican agua, detergentes y desinfectantes (Bénézech y Lalande, 2002). Por ello, el conocimiento de las propiedades físico-químicas de la suciedad, así como del crecimiento microbiano desarrollado en las superficies del condensador, permite definir las características que son necesarias en el sistema de limpieza y desinfección. Así, mediante la encuesta e inspecciones realizadas (ANEXO I y II) y los análisis de laboratorio (con resultados mostrados en el capítulo IV de esta tesis), se ha determinado la suciedad a eliminar y, en base a la misma y de los materiales de construcción y sus superficies, se ha fijado el tipo de detergente y el programa de limpieza y desinfección a emplear en el nuevo diseño que se proyecta. Se ha planteado la más o menos directa adaptación de los conceptos de sistema CIP de los equipos de procesamiento de alimentos de la industria alimentaria, al condensador evaporativo que se pretende desarrollar en esta Tesis.

5.2. DETERMINACIÓN DEL TIPO DE SUCIEDAD A ELIMINAR.

A través de los diferentes análisis, de las aguas y superficies de los 10 condensadores en funcionamiento estudiados así como de las inspecciones visuales de los mismos y diferentes pruebas realizadas en planta piloto, queda claro que en estas instalaciones hay tres tipos de suciedad: suciedad inorgánica, orgánica y con mención especial dentro de esta última a la ocasionado por el desarrollo de microorganismos.

Los residuos existentes en los condensadores evaporativos pueden encontrarse tanto adheridos a las superficies de los componentes del sistema, como depositados en el fondo de la bandeja de recogida de agua. Estos residuos procederán en parte del ambiente exterior del equipo desde donde entrarán partículas de polvo, materias sólidas orgánicas de toda clase (hojas de árboles, insectos, etc.), e inorgánicas. Además hay que considerar también el agua de aporte como una fuente adicional de contaminación ya que no solo transporta microorganismos sino también contiene otras sustancias inorgánicas en disolución (sales de calcio, magnesio, carbonatos, etc.) que precipitarán formando costras minerales. Por último, los productos de la corrosión del equipo, en su mayoría óxidos, que se sumarán a los anteriores contaminantes como posible fuente de nutrientes para *Legionella* y otras bacterias.

El principal tipo de suciedad a eliminar será las incrustaciones calcáreas que se producen fundamentalmente en los tubos del condensador (Fotos 5.1 y 5.2), debido a las características físicas y químicas del agua que le hacen tener un fuerte carácter corrosivo e incrustante.

Las incrustaciones son depósitos duros, adherentes y compactos de materias predominantemente inorgánicas, procedentes de la precipitación por sobresaturación de las sales contenidas y por variaciones de temperatura.



Foto 5.1. Incrustaciones en uno de los tubos de intercambio de calor de un condensador.

Las sales que la producen son entre otras: carbonato cálcico, silicato cálcico, sulfato cálcico, fosfato cálcico, sales magnésicas y sílice, aunque estas últimas se encuentran con menor frecuencia (ASHRAE, 1999).

Los principales factores que influyen sobre la formación de incrustaciones son entre otros: temperatura, concentración salina, pH y alcalinidad, concentración de sólidos disueltos y condiciones fluido-dinámicas y termostáticas del sistema. Una de las reacciones que se produce con más frecuencia es la de precipitación del carbonato cálcico como sedimento o incrustación ya que es una sal que, al contrario que la mayoría, se vuelve menos soluble al aumentar la temperatura de la disolución.

La formación de incrustaciones causa siempre un consumo de energía más alto, reduciéndose considerablemente la eficacia en la transmisión de calor. Por ejemplo con un espesor de las incrustaciones de 2 mm, un enfriador evaporativo tendría tan sólo una eficiencia del 50% (Szymura, 2006). Incluso una moderada cantidad de incrustaciones reduce significativamente la eficiencia térmica y promueve la corrosión de la batería de intercambio, debajo de la capa de incrustaciones, lo cual puede conducir a una reducción drástica de la vida útil del equipo (Qureshi y Zubair, 2005). Además una elevada cantidad de incrustaciones proporciona un refugio para microorganismos difícil de limpiar y desinfectar y puede por lo tanto aumentar el riesgo de contaminación por *Legionella* y otros gérmenes.

Durante los trabajos realizados, las incrustaciones estuvieron presentes incluso inmediatamente después de realizar la limpieza y desinfección periódicas de los equipos (Foto 5.2). Además los análisis de las aguas que utilizaban los equipos mostraron unos niveles de elevados de carbonato cálcico (Figura 4.5).



Foto 5.2. Fotografía de un tubo de la batería de intercambio de calor 15 días después de la limpieza y desinfección obligatoria.

Otro problema que se encontró, fue la corrosión que se da en estos equipos y que puede acortar su vida útil considerablemente (ver Foto 5.3). La corrosión es la destrucción del metal o aleación a través de una reacción química con el ambiente que le rodea (ASRHAE, 1999).



Foto 5.3. Batería de tubos y superficies internas con muestras de fuerte corrosión generalizada.

Para que se produzca un proceso de este tipo, debe constituirse previamente una célula de corrosión compuesta por ánodo, cátodo y electrolito. En el caso de una tubería o serpentín de intercambio, una parte del metal constituye el ánodo, otra parte el cátodo y el agua el electrolito. De este modo, cuando el acero queda expuesto a los elementos, se oxida formándose óxido de hierro en su superficie y otros productos que pueden

acrecentar el crecimiento microbiano. Además, si el agua contiene cloruros o compuestos azufrados, pueden desarrollarse celdas galvánicas que produzcan “pitting” o pinchazos de alfiler que pueden causar fugas. Esta corrosión localizada también puede verse incrementada o acelerada por los microorganismos.

Otro tipo de ensuciamiento, que se pudo ver en los condensadores evaporativos, son los lodos, que fueron localizados sobre todo en los momentos próximos a la limpieza periódica de los equipos (ver Foto 5.4). Son el resultado de la precipitación de sustancias orgánicas e inorgánicas insolubles. Son los causantes de corrosiones localizadas, favorecedores de fermentaciones orgánicas o del metabolismo de los microorganismos. Estos depósitos son densos, movibles y capaces de acumularse en las zonas de menor velocidad del agua. Dificultan el flujo del agua, disminuyendo el caudal de recirculación y producen una reducción en la transferencia calorífica de la instalación.

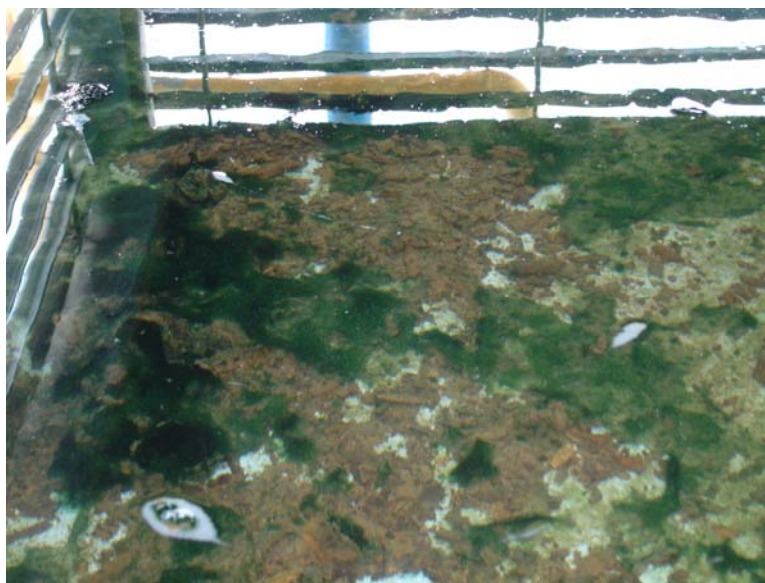


Foto 5.4. Suciedad en la bandeja de recogida de agua en un condensador evaporativo.

Finalmente, es de destacar el crecimiento microbiológico originado principalmente por algas, hongos, bacterias, y otros microorganismos como las amebas y protozoos, favorecidos por la presencia de luz, calor y nutrientes entre otros. Todos estos microorganismos se encontraron en el 100% de los equipos muestreados (ver Foto 5.5 y Figura 4.9), incluso se encontró el patógeno *Legionella pneumophila*.

El crecimiento microbiano puede interferir con la operación de enfriamiento y ser un riesgo para la salud si se presenta en los aerosoles producidos por el equipo, ya

que podría contener *Legionella* (ASHRAE, 1999). El ensuciamiento biológico puede estar causado por una amplia variedad de microorganismos que producen biofilms y masas de lodos.

La suciedad biológica en la balsa de recogida de agua disminuye la eficacia del equipo al aumentar la presión de trabajo de la bomba de recirculación e interferir en el patrón del flujo de distribución de agua sobre la batería de enfriamiento. En casos extremos incluso puede bloquear sistema de distribución de agua.

Las bacterias pueden crecer en estos sistemas inclusive cuando los niveles de nutrientes son relativamente bajos. Además las algas también pueden proveer nutrientes a los microorganismos presentes en el equipo.

Al tratarse de equipos con un entorno hidratado se forman biofilms de manera espontánea en las superficies húmedas. Estos, son comunidades de microorganismos recubiertas de un polímero extracelular que les ayuda a retener el alimento y a protegerse de agentes tóxicos (Frank y Koffi, 1990; McCarthy, 1992; Ronner y Wong, 1993). Con el tiempo esta película se une de manera irreversible a la superficie, de forma que la acción mecánica para desprenderlo será mayor cuanto más tiempo lleve el biofilm. Por ello será necesario realizar una limpieza y desinfección adecuadas, ya que de lo contrario se ponen en suspensión en el agua más bacterias de las que había antes, que pueden posteriormente redepositarse en otro lugar y formar un nuevo biofilm. Esto es algo que se pudo comprobar durante los análisis, al aumentar el número de microorganismos aerobios después de realizar la limpieza y desinfección preceptiva. Además si la matriz de polímeros extracelulares no se elimina bien con la limpieza y desinfección, proporcionará lugares de unión y nutrientes para los microorganismos que lleguen nuevos al equipo que se ha limpiado (Hood y Zottola, 1997). Así estos biofilms serán un factor de riesgo que favorece la multiplicación de *Legionella*, pues en ellos puede verse protegida gracias a las relaciones de cooperación que se dan entre especies en los mismos. Esto es porque en los biofilms, *Legionella* puede interactuar con otros microorganismos estableciendo relaciones simbióticas, al reproducirse dentro de distintas especies de amebas y protozoos ciliados lo que la protege de los desinfectantes, siendo un medio para su supervivencia y diseminación (Murga et al., 2001). Por último

añadir que, los biofilms, incluso una fina capa de los mismos, reducen significativamente las tasas de transferencia de calor en los intercambiadores.

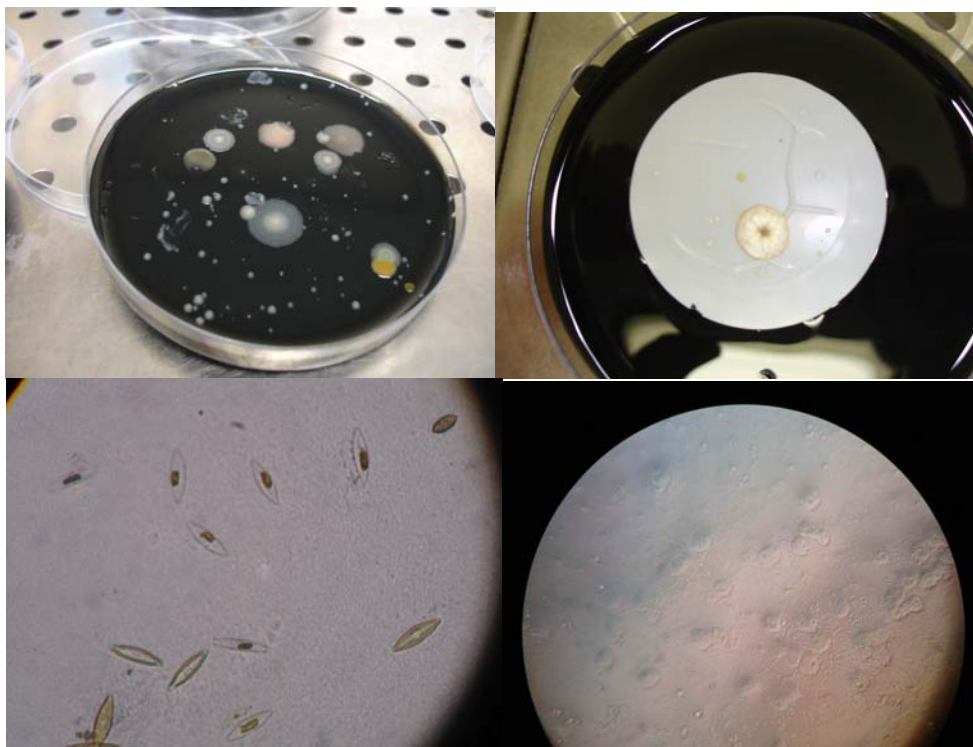


Foto 5.5. Arriba izquierda: placas de agar GVPC con distintos tipos de colonias, entre ellas las típicas de *Legionella*. Arriba derecha: micelio de un hongo creciendo sobre filtro de nitrocelulosa. Abajo izquierda: microalgas (diatomeas) vistas al microscopio de contraste de fases x800 sobre agar agar. Abajo derecha: amebas vistas al microscopio de contraste de fases x400 sobre agar agar.

En definitiva, el conjunto de estos residuos, ensuciarán el condensador y harán de él un equipo con alto riesgo de proliferación microbiana y biológica.

5.3. DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO CIP Y DEL PROGRAMA DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN QUÍMICA.

Convencionalmente, la limpieza de los condensadores evaporativos se lleva a cabo manualmente. Este método de limpieza consume mucho tiempo y puede resultar caro por la pérdida de tiempo de producción y por el uso de mano de obra. Además es ineficaz en términos de higiene, como ya ha quedado patente.

Para conseguir un equipo totalmente higiénico será necesario conseguir una limpieza y desinfección escrupulosa del mismo. Para ello se propone la utilización de un sistema CIP que eliminará los depósitos de suciedad orgánica, que son la base

nutricional para el crecimiento bacteriano y precursores de la biocorrosión, así como los restos minerales. También se eliminarán los biofilms reduciendo la contaminación de las superficies del equipo hasta unos niveles aceptables. Este tipo de limpieza permite actuar sobre suciedades frescas, fáciles de eliminar, y supone un ahorro de recursos (tiempo, mano de obra y dinero) ya que permite la aplicación de la limpieza y desinfección sin necesidad de parar la instalación para desmontar los componentes de la misma y acceder a su interior, es decir, está adaptado al trabajo en continuo.

Así, para que un sistema CIP sea efectivo, deberá aplicarse una mezcla de detergentes y desinfectantes que elimine todo tipo de residuos y formas viables de microorganismos presentes y que sea compatible con todo tipo de superficies en el circuito y el equipo. Además todas las superficies tienen que ser accesibles o estar en contacto con el fluido de limpieza y todos los componentes del circuito tienen que estar disponibles para el lavado al mismo tiempo.

La determinación de las condiciones de operación del sistema CIP viene dada por los cuatro parámetros que caracterizan la eficacia de la limpieza: tiempo, temperatura, acción química (detergentes) y acción mecánica (Bénézech y Lalande, 2002).

La duración óptima de la limpieza es muy difícil de prever, por lo que normalmente se adoptan márgenes de seguridad, a menudo según la experiencia en el sector. El tiempo estará condicionado por el tipo de residuo y el agente químico de limpieza. Si bien, a mayor tiempo, mayor efectividad y mayores consumos.

Aunque en ocasiones son deseables temperaturas elevadas, éstas no siempre son posibles y en la práctica es un factor limitado, ya que aumenta el consumo energético. Si bien de lo que se trata es de conseguir un sistema higiénico y esto se puede hacer usando temperaturas normales de red.

En general se distinguen dos grandes tipos de detergentes, los detergentes alcalinos y los detergentes ácidos, siendo los primeros más activos sobre suciedades orgánicas y los segundos sobre suciedades inorgánicas. Además en el mercado hay formulaciones muy complejas de los mismos, aunque su naturaleza es también ácida o básica. La elección de los mismos también dependerá del tipo de material a limpiar.

Cuanto mayor sea la concentración mayor será la eficacia, pero también mayor el coste económico y el impacto ambiental. Así una posibilidad económicamente asequible, sería el uso de disoluciones de hidróxido sódico y ácido nítrico en agua que se aplicarían por separado de forma consecutiva.

La acción mecánica variará con las condiciones de presión. Se puede realizar una aplicación de la limpieza a alta o a baja presión. Por lo general en estos equipos se usan altas presiones pero la frecuencia (no más de dos veces al año) y el método de limpieza (manual) son inadecuados.

La limpieza irá seguida de una desinfección que permita conseguir un nivel adecuado de higiene en el equipo. Hay una gran cantidad de desinfectantes comerciales, si bien en los equipos de enfriamiento evaporativo se ha podido comprobar que el más usado es el hipoclorito de sodio, que tiene un amplio espectro de acción y es económico para las empresas.

El CIP diseñado (ANEXO III), puede usarse como un sistema de tipo sencillo, de modo que los líquidos se utilizan una sola vez y después se desechan, lo que es típico de equipos que presentan un ensuciamiento frecuente, o una solución de recuperación con una carga contaminante elevada. O bien, para una reducción de costes, se podría contemplar una recuperación de detergentes o del agua de enjuagado lo que se corresponde con un diseño mixto.

Otra característica del sistema CIP para el condensador evaporativo será el control automático del funcionamiento por un autómata (apertura y cierre de válvulas, marcha y paro de bombas, etc.) con el que se pretende optimizar los procesos de limpieza y desinfección (ver Foto 5.6).



Foto 5.6. Cuadro eléctrico y de control con autómata industrial (PLC) marca SIEMENS en un prototipo de condensador evaporativo higiénico y automático (FRICOMZA S.L.).

De forma resumida, para un condensador evaporativo higiénico y automático se propone el siguiente diseño del sistema y programa de lavado.

Una unidad CIP, que consiste en:

- Un depósito de formulación de la solución de limpieza/desinfección, equipado con un sistema medición de nivel, sondas de temperatura, pH, y conductividad eléctrica, válvula de mariposa manual de purga y electroválvulas para las líneas de alimentación y retorno de CIP. Ver Foto 5.7.
- Batería de depósitos de detergente y desinfectante con bombas dosificadoras de tipo electromagnético / peristáltico.
- Bomba centrífuga de tipo sanitario para línea de alimentación y bomba autoaspirante para línea de retorno.
- Sistema de control. Incluyendo PLC (autómata programable), para la programación de los ciclos de lavado y dosificación de detergente, protectores térmicos para motores, switch de control, válvulas solenoides y panel mímico.
- Boquillas aspersoras fijas, spray balls, con diseño higiénico. Convenientemente distribuidas por el interior del equipo para llegar a todas las superficies del mismo sin dejar zonas de sombra de cara a la limpieza. Éstas trabajan a unas presiones de 1-3 bar para unas velocidades de 1,5-2 m/s, con lo que se consigue un flujo turbulento que es el adecuado para una óptima limpieza.

- Valvulería y accesorios para la interconexión del sistema.
- Tubería de PVC DN40/PN16

Opcionalmente podría incluirse un sistema de calentamiento para la solución de lavado. Esto incluiría una bomba de recirculación de acero inoxidable, un intercambiador de calor de placas y accesorios de conexión en acero inoxidable.

Todos estos componentes del sistema CIP, han sido ensayados con éxito en los modelos construidos a escala de planta piloto y taller y cuyos resultados se muestran y discuten en el capítulo 8.



Foto 5.7. Detalles de un sistema CIP acoplado a un condensador evaporativo automático e higiénico .

En la siguiente tabla se propone un programa CIP para un condensador evaporativo higiénico y automático. Este programa consta de las fases típicas de lavado de los sistemas CIP.

Tabla 5.1. Programa de limpieza y desinfección.

Etapas de trabajo	Líquido	Concentración %	Duración (minutos)	Temperatura
Prelavado	Agua	-	30	Frío
Lavado alcalino	Solución de NaOH	1	30	Frío; 60–85°C
Enjuagado intermedio	Agua	-	30	Frío
Lavado ácido	Solución HNO ₃	1	30	Frío
Enjuagado intermedio	Agua	-	30	Frío
Desinfección	Solución de NaClO	5 ppm	30*	Frío
Enjuagado final	Agua	-	10	Frío

*Dos veces al año 3-4 horas (España, 2003).

Las soluciones de limpieza alcalinas actúan como emulsificantes, disuelven proteínas y actúan como agentes bactericidas. Lo usado comúnmente es hidróxido de sodio (sosa) en concentraciones del 1 al 5% (Bremer et al., 2006). Este producto reacciona con las grasas depositadas y produce agentes tensoactivos que mejoran el proceso de lavado.

Las soluciones ácidas, orgánicas e inorgánicas usadas en concentraciones entre 0,5% y 2% remueven depósitos de sales incrustadas en el sistema, las cuales se forman en superficies calientes (Storgårds, 2000). Los ácidos normalmente usados son el nítrico 0,5% o el fosfórico 2%. Otros ácidos pueden ser usados pero pueden ocasionar problemas de corrosión.

Como desinfectante se utilizará hipoclorito de sodio (NaClO), a concentración compatible con los materiales del condensador que es eficaz frente al patógeno *Legionella pneumophila*. La norma que regula estos equipos (Real Decreto 865/2003) establece una concentración en el agua de desinfección periódica de 5 mg/L.

También hay que añadir que el proceso de diseño de un protocolo de limpieza adecuada para una situación dada es todavía semi-empírico (Fryer y Asteriadou, 2009), por lo que éste que se presenta puede ser ajustado en un futuro.

El programa de limpieza y desinfección descrito en la tabla 5.1 es automático y está gobernado por un autómata programable que opera sobre los distintos receptores (actuadores); las bombas y válvulas del sistema CIP, en función de distintos parámetros de consigna, tales como el tiempo desde la última limpieza o parámetros físico-químicos del agua monitorizados por los sensores del sistema (sondas de nivel, temperatura, conductividad, pH y cloro libre). Para ello se ha de programar en base a la secuencia de etapas que debe ejecutar. La primera secuencia que se ha probado se describe en el ANEXO III.

5.4. CONCLUSIONES.

La suciedad a eliminar está compuesta por incrustaciones calcáreas, productos de la corrosión, sedimentos inorgánicos, lodos, algas y otra materia orgánica y microorganismos que forman biofilms. Los biofilms actúan como refugio y reservorio de microorganismos y no se eliminan con los sistemas actuales de limpieza y desinfección.

Esta suciedad, si no es evitada y eliminada convenientemente a tiempo, perjudica al equipo al disminuir su rendimiento energético y su vida útil. Además supone un inconveniente para mantener el equipo con unos niveles de microorganismos que no lo conviertan en un foco de legionelosis.

En los condensadores evaporativos actuales, es necesario utilizar un sistema de limpieza y desinfección eficaz, que pueda ser usado con la debida frecuencia y que higienice los equipos hasta conseguir que sean seguros desde el punto de vista microbiológico.

Los sistemas CIP, que se utilizan con éxito en la industria alimentaria, pueden aplicarse a los condensadores evaporativos, ya que se adaptan a limpiezas frecuentes, que pueden ser ejecutadas durante pausas del funcionamiento.

Los programas de limpieza y desinfección de un sistema CIP instalado en un condensador evaporativo, deben ser ajustados de acuerdo con la experiencia en condiciones de operación habituales.

CAPÍTULO 6

Análisis de los Materiales de Construcción en Condensadores Evaporativos y su Problemática Frente al Control de *Legionella pneumophila*

Parte del texto de este Capítulo ha sido publicado en el trabajo:

- Castaño AM, Hernández ME, López A, Palop A, (2007) Necesidad del diseño higiénico en torres de enfriamiento y condensadores evaporativos. *Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío*, Oporto, Portugal.

6.1. INTRODUCCIÓN.

Los materiales de los condensadores evaporativos están expuestos a condiciones ambientales excepcionalmente difíciles y adversas. Todo el condensador debe resistir la acción combinada de las altas temperaturas, la exposición a los agentes atmosféricos, la química indeterminada del agua, el ensuciamiento biológico y otros agentes potencialmente dañinos como los contaminantes atmosféricos y del agua. Además, la limpieza y desinfección de los condensadores evaporativos es obligatoria a nivel estatal por Real Decreto y estas operaciones supondrán una agresión extra a los materiales constructivos de los mismos.

Desgraciadamente, la calidad del agua utilizada en el proceso de enfriamiento evaporativo y las condiciones ambientales del entorno donde se ubican estos equipos, no son normalmente las idóneas para lograr una vida de servicio aceptable. La desviación de los valores considerados adecuados en el agua utilizada, como normalmente sucede en las instalaciones desinfectadas en continuo, requiere la elección de materiales especialmente resistentes.

La influencia de la elección de los materiales en la formación de biofilms y en el crecimiento del patógeno *Legionella pneumophila* ha sido contrastada en diversos trabajos de investigación de microbiología de superficies y esta relación será de gran importancia a la hora de escoger de forma adecuada los elementos de un equipo evaporativo. Además de un tipo de material adecuado, será fundamental contar con un buen acabado de superficie, ya que el estado de la misma influirá sobre el éxito de las medidas higiénicas debido a que las superficies lisas se desinfectan y limpian mejor que las rugosas y agrietadas. En resumen, la estructura de estos equipos consta de diversos componentes fabricados con materiales de distinta naturaleza. Estos materiales tendrán gran influencia en la aptitud para la limpieza de los equipos, fundamental para conseguir su desinfección, de modo que el conocimiento de sus propiedades será crucial para evitar la corrosión, las incrustaciones y la colonización bacteriana. Es por esto que una meticulosa selección de los mismos podrá prevenir estos problemas consiguiendo una mayor vida de servicio que la meramente lograda con el mantenimiento preventivo.

6.2. DESCRIPCIÓN DE LOS MATERIALES CONSTRUCTIVOS DE LOS COMPONENTES DE LOS CONDENSADORES EVAPORATIVOS Y SU PROBLEMÁTICA.

A la vista de los resultados de la encuesta realizada en las instalaciones de refrigeración que se recoge en el ANEXO I, se detalla a continuación para cada componente de los equipos, las características de sus materiales constructivos y su relación con la aptitud para la limpieza y desinfección. Se trata de ofrecer una visión que ayude a conocer como puede comportarse un material y, de esta manera, facilitar su selección para conseguir un diseño higiénico en los equipos.

6.2.1. Carcasa

La estructura externa de los condensadores, conocida también como carcasa, se fabrica empleando materiales plásticos y metálicos. Las construidas en metal emplean fundamentalmente acero, en concreto chapas de acero galvanizado. Este material es de gran robustez pero genera problemas de corrosión e incrustaciones si se realiza una mala limpieza y un mal mantenimiento como ha quedado demostrado. Esto supondría un claro riesgo de contaminación microbiológica debido a que estas condiciones favorecen el ensuciamiento biológico de las superficies.

A la vista de los resultados de la encuesta realizada, los condensadores metálicos (Foto 6.1) son los más extendidos en el mercado, pero la corrosión que se genera en ellos puede ser un problema, ya que *Legionella* y otros microorganismos se pueden refugiar en los huecos producidos en el metal por culpa de la corrosión y además disminuir la facilidad de limpieza de la superficie.



Foto 6.1. Condensador evaporativo con carcasa metálica.

Por otro lado, los condensadores fabricados con materiales plásticos emplean poliéster, poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) y en ocasiones poliéster reforzado con chapas metálicas embutidas en su interior. Son equipos que evitan los problemas de corrosión en la carcasa, pero no las incrustaciones que igualmente se forman (Foto 6.2). Por tanto, esto es un riesgo de cara a la contaminación microbiana.



Foto 6.2. Materiales plásticos ensuciados en el interior de un condensador de PRFV, sometido a tratamiento preventivo con biocida.

En general los materiales plásticos muestran un envejecimiento más acusado que los metálicos pues sufren un mayor desgaste, además presentan un peor mojado de las superficies y sus características técnicas en cuanto a la aptitud para la limpieza son peores que las de los metales (datos no mostrados).

6.2.2. Tubos de intercambio de calor.

El paquete de tubos de intercambio de calor, consta de una batería de tubos, o bien de una serie de placas fabricadas en acero galvanizado (Foto 6.3). La batería de tubos puede tener uno o dos bloques de tubos, montados sobre un marco también de acero, y a los que se les aplica posteriormente un galvanizado por inmersión.

Los tubos presentan generalmente una elevada rugosidad a la vista y al tacto, muy susceptible de incrustaciones (Foto 6.4).



Foto 6.3. Intercambiadores de calor de un condensador evaporativo. Placas y tubos.



Foto 6.4. Tubos de un condensador con incrustaciones salinas.

La rugosidad de las superficies en contacto con el agua será un parámetro muy importante a tener en cuenta para la optimización de la elección de los materiales utilizados en el condensador, ya que influye en gran medida sobre la adhesión de los microorganismos (Asther et al., 1990), al igual que propicia el depósito de otros materiales que ensucian la superficie. La profundidad media de las asperezas de una superficie influirá en la aptitud de limpieza de la misma, fundamental para favorecer la desinfección posterior.

El acero galvanizado que se utiliza para los tubos, no resulta ser el material más conveniente, pues es fuertemente afectado por la corrosión, cuyos productos pueden servir de alimento para las bacterias (Foto 6.3).

6.2.3. Separador de gotas.

En la parte superior del condensador se encuentran los separadores de gotas que se fabrican principalmente de PVC, lo que los hace muy ligeros y fácilmente manipulables. También se fabrican en polipropileno (PP), en poliestireno, polietileno (PE) y en poliéster. Según las inspecciones realizadas, estos materiales plásticos no están libres de las incrustaciones cuando el agua es de una calidad pobre (Foto 6.5).



Foto 6.5. Separadores de gotas: PVC (Izq.), PE (Dch.).

Otros fabricantes emplean separadores de chapa metálica galvanizada, que presentan los mismos problemas que los tubos del intercambiador de calor.

6.2.4. Bandeja de recogida de agua.

Los condensadores evaporativos disponen en su parte inferior de una balsa o bandeja de recogida de agua, construida normalmente en acero galvanizado, presentando los mismos problemas que la carcasa. Estas bandejas cuentan con accesorios como las válvulas de flotador y los filtros, donde se deposita gran parte de la suciedad que entra al condensador (Fotos 6.6 y 6.7).



Foto 6.6. Válvula de flotador de un condensador evaporativo en servicio.



Foto 6.7. Filtro del agua en la entrada de la tubería de aspiración de la bomba de recirculación.

6.2.5. Sistema de distribución de agua.

El sistema hidráulico del condensador evaporativo consta de tuberías de aspiración e impulsión, bomba de recirculación, distribuidor de agua, y boquillas de distribución. El distribuidor de agua y las conducciones se fabrican generalmente en acero galvanizado, aunque para los colectores y conducciones de distribución de la parte superior se instalan también tubos de PVC o de PP. Por último, los pulverizadores o boquillas de distribución del agua se fabrican fundamentalmente en PP, en PVC y en plástico Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno (ABS). Ver Foto 6.8.



Foto 6.8. Sistema de distribución de agua fuera y dentro del condensador.

De todos estos el PVC es el que tiene mejor aptitud para la limpieza, y menor capacidad de desarrollo de biofilms y colonización por *Legionella pneumophila* (Rogers et al., 1994).

6.2.6. Sistema de circulación de aire.

Finalmente, el sistema de impulsión o aspiración del aire a través del paquete de tubos, está formado por ventiladores con álabes de aluminio o de PVC. Estos ventiladores pueden ser axiales o centrífugos, y están accionados por un motor eléctrico a veces equipado de un sistema de transmisión de potencia con correa. Los materiales de estos componentes deben ser resistentes a la corrosión, cosa que normalmente no ocurre (Foto 6.9), convirtiéndose en una fuente extra de suciedad en el condensador y en un nicho ecológico para los microorganismos.



Foto 6.9. Ventiladores axiales.

6.3. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES.

La selección de materiales es la base de un adecuado diseño higiénico. Ésta implica un compromiso entre factores tales como la resistencia, elasticidad, dureza, tenacidad, desgaste, resistencia a la corrosión, resistencia a la fatiga y la facilidad de fabricación, así como la disponibilidad y el coste (EHEDG, 2007).

Una de las premisas a seguir en la elección de materiales será utilizar aquellos que no contribuyan a disminuir la calidad del agua ni promuevan el crecimiento microbiano. Así, hay varias propiedades de los materiales que afectan al crecimiento de los biofilms, por ejemplo, la naturaleza hidrófila o hidrófoba de las superficies influye

en la unión de las bacterias acuáticas a éstas (Flecher, 1980). Además, la formación de un biofilm en una superficie de un material puede ser estimulada si este es capaz de proporcionar nutrientes para el crecimiento bacteriano. Coulborne (1988) explica que las superficies plásticas podrían aportar cationes que son esenciales en algunas funciones enzimáticas de las bacterias, siendo las células bacterianas directamente en contacto con los materiales las que tienen mas probabilidad de captar los iones.

El lixiviado de nutrientes bacterianos desde las superficies de los materiales, al agua de refrigeración de los equipos, con el consiguiente riesgo de generar un hábitat propicio para el desarrollo de microorganismos indeseables, es otro factor más a tener en cuenta para la selección de los mismos (Tabla 6.1).

Tabla 6.1. Lixiviado de carbono orgánico en materiales en contacto con el agua durante 3 días (Rogers et al., 1994).

Material en contacto con el agua	TOC (Carbono Orgánico Total, mg/L ^a)
Vidrio	2.78±0.40
Cobre	4.15±0.17
Polibutileno	4.46±0.15
PVCc	6.02±0.11
PVCu	5.42±0.11
Polipropileno	5.98±1.56
Polietileno	179±0.82
Etileno-propileno	157±0.84
Látex	320±19.40
Acero inoxidable	No realizado
Acero al carbono	No realizado

^a Los valores que se presentan son medias de tres determinaciones ±desviación estándar.

Según Rogers et al. (1994), los materiales metálicos como el cobre presentan una migración de nutrientes orgánicos inferior a la de los plásticos como el látex, el polietileno o el etileno-propileno, que aumentan la concentración de carbono orgánico total en el agua. Dentro de los materiales plásticos, el PVC será uno de los que mejor comportamiento muestre al respecto. Por otro lado Van der Kooil et al. (2005), encontraron un comportamiento similar entre el cobre y el acero inoxidable siendo los materiales para tuberías que a largo plazo presentan un menor crecimiento de biofilms con *Legionella*.

Rogers et al. (1994) también estudiaron la formación de biofilms y la colonización de *Legionella pneumophila* en distintos materiales simulando las condiciones de un sistema de distribución de agua potable (Figura 6.1 y 6.2).

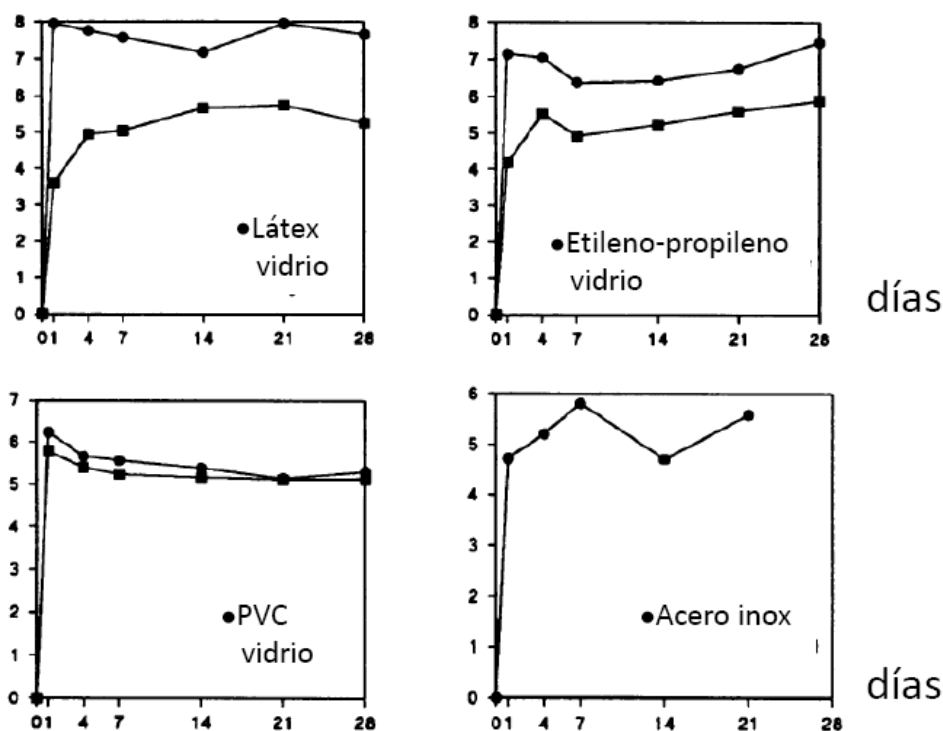


Figura 6.1 . Colonización de microorganismos distintos a *Legionella pneumophila* en materiales constructivos, en función de la edad del biofilm. Log UFC no *Legionella* x cm² / días. El vidrio es usado como control (Rogers et al., 1994).

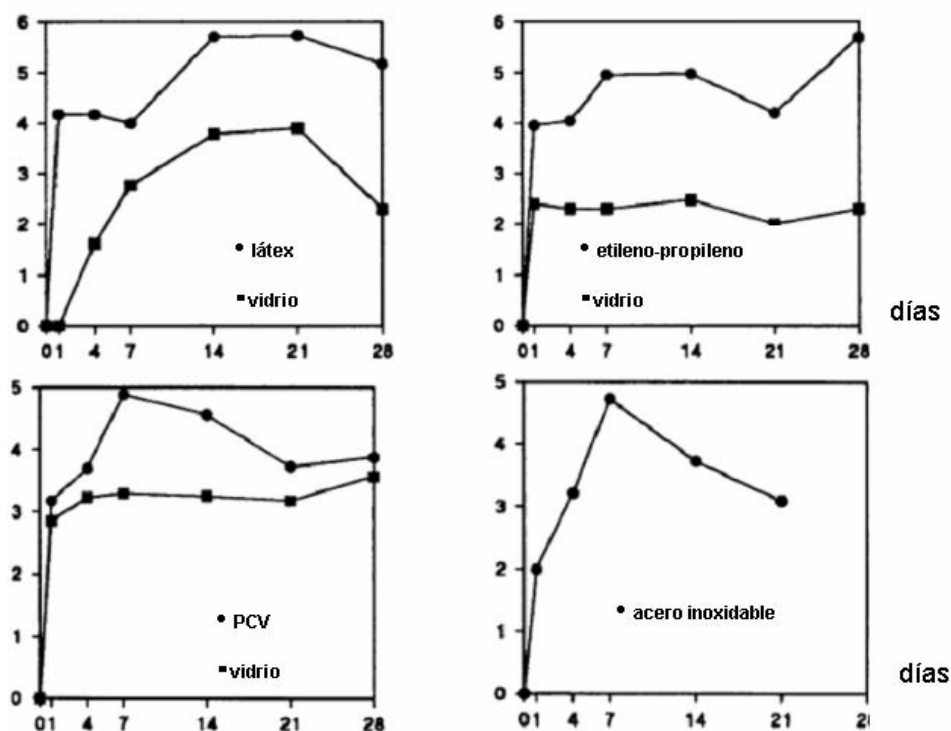


Figura 6.2. Colonización por *Legionella pneumophila* de materiales constructivos. Log UFC *Legionella pneumophila* x cm² / días. El vidrio es usado como control (Rogers et al., 1994).

Los resultados sobre la influencia de los materiales en la formación del biofilm en la superficie de éstos muestran que los materiales plásticos son más colonizados y más rápidamente que los metálicos.

Dentro de los posibles materiales constructivos el acero inoxidable es el material que mejor comportamiento muestra a este respecto, presentando los recuentos de microorganismos más bajos. Dentro de los materiales plásticos el PVC se revela como el mejor de los plásticos ya que demuestra tener una colonización de microorganismos no pertenecientes al género *Legionella* menor que los otros.

En el caso de la colonización de *Legionella pneumophila* (Figura 6.2), se observa un comportamiento similar al presentado en las curvas de crecimiento de microorganismos distintos a la *Legionella*.

En resumen, entre los materiales constructivos serán el acero inoxidable y el PVC los más recomendables para retrasar la colonización de la superficie por parte de la bacteria y propiciar que los recuentos del patógeno sean menores así como de otros microorganismos que puedan establecer relaciones de cooperación con el patógeno en los biofilms.

Las fotografías al microscopio electrónico de los materiales previamente esterilizados y posteriormente sometidos a un proceso artificial de formación de biofilms, permiten la observación directa de la gruesa capa de la matriz de exopolisacáridos que se forma en las superficies. La matriz está compuesta de un variado número de microorganismos de diversas morfologías (Figura 6.3.). Materiales plásticos como el PVC (Figura 6.3. C y D) son menos colonizados que otros como el látex y el etileno propileno (Figura 6.3. A y B). Se observa como en el acero al carbono se acumulan muchos más productos de la corrosión que en el acero inoxidable, presentando además este último una menor cantidad de microorganismos (Figura 6.3. E y F). El acero inoxidable y el PVC son los materiales que mejor aspecto muestran en las fotografías.

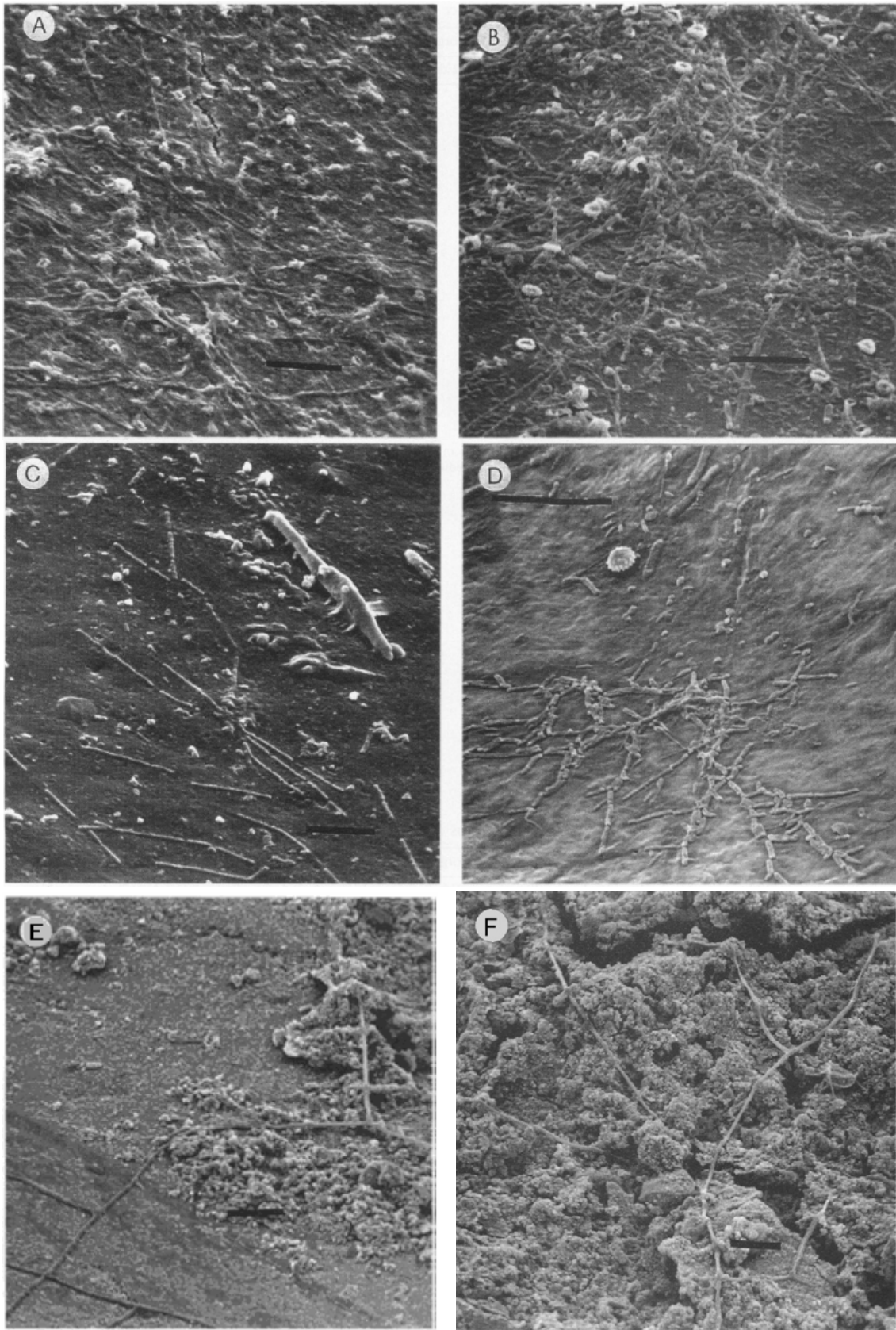


Figura 6.3. Fotografías al microscopio electrónico de biofilms en superficies de distintos materiales tras 24 h en un cultivo quimioestático. A: látex, B: etileno propileno, C: PVC clorado, D: PVC no plastificado, E: acero inoxidable, F: acero al carbono (Rogers et al., 1994). Barra: 10 μm .

Otro punto de vista es la problemática de la corrosión e incrustaciones que aparecen en los materiales constructivos de los condensadores evaporativos (Foto 6.10). El acero galvanizado (Z-275, Z-600, Z-725, etc.) es el metal más utilizado en la fabricación de estos equipos, y presenta la desventaja de no resistir la acción del agua que circula por el condensador, fundamentalmente, porque el agua está tratada con biocida para prevenir el desarrollo de *Legionella* con productos muy agresivos para el acero, como los derivados clorados.



Foto 6.10. Paquete de intercambio de calor con signos de corrosión e incrustaciones.

Los productos de la corrosión, serán una fuente extra de nutrientes aportada a los microorganismos. Esta situación será aprovechada tanto por amebas y protozoos que sirven como estructuras de refugio y supervivencia de *Legionella* (Fliermanns et al., 1981), como por la propia bacteria.

El uso de aceros inoxidables, resistentes a la corrosión, como las series AISI 304, 304L, y 316, 316L, típicas de las instalaciones utilizadas en los procesos de las industrias alimentarias, asegurarán una mayor vida útil de los equipos y reducirán los costes de mantenimiento, ya que este material es el que mejor resiste el desgaste que tiene lugar con el tiempo y el uso.

A la hora de conocer la facilidad de limpieza de un material, uno de los parámetros más importantes a tener en cuenta será su rugosidad superficial. Un buen acabado de superficie de estos materiales limitará los riesgos de corrosión debido a la rugosidad, y permitirá que la acción mecánica de la limpieza sea plenamente eficaz, ya que propiciará un menor ensuciamiento en los huecos y asperezas, una menor adhesión de microorganismos, y facilitará el mojado de la misma.

De este modo, la rugosidad superficial será una propiedad mecánica del material sobre la que actuar, fundamentalmente a través de un adecuado pulido.

La Figura 6.4 muestra fotografías al microscopio electrónico de dos materiales plásticos usados típicamente en la construcción de estos equipos. Estas fotografías se tomaron con materiales nuevos y limpios, adquiridos para la ocasión. El PVC, que se utiliza normalmente para las conducciones interiores, es el material con aspecto más liso, uniforme y sin imperfecciones, lo cual hizo que no se pudiera aumentar más de 200 aumentos la imagen con esta técnica. Mientras, el poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV) que se utiliza en la construcción de elementos como la bandeja de recogida de agua o la carcasa de cerramiento, tiene un gran número de imperfecciones superficiales. En este caso se llegó a los 3500 aumentos.

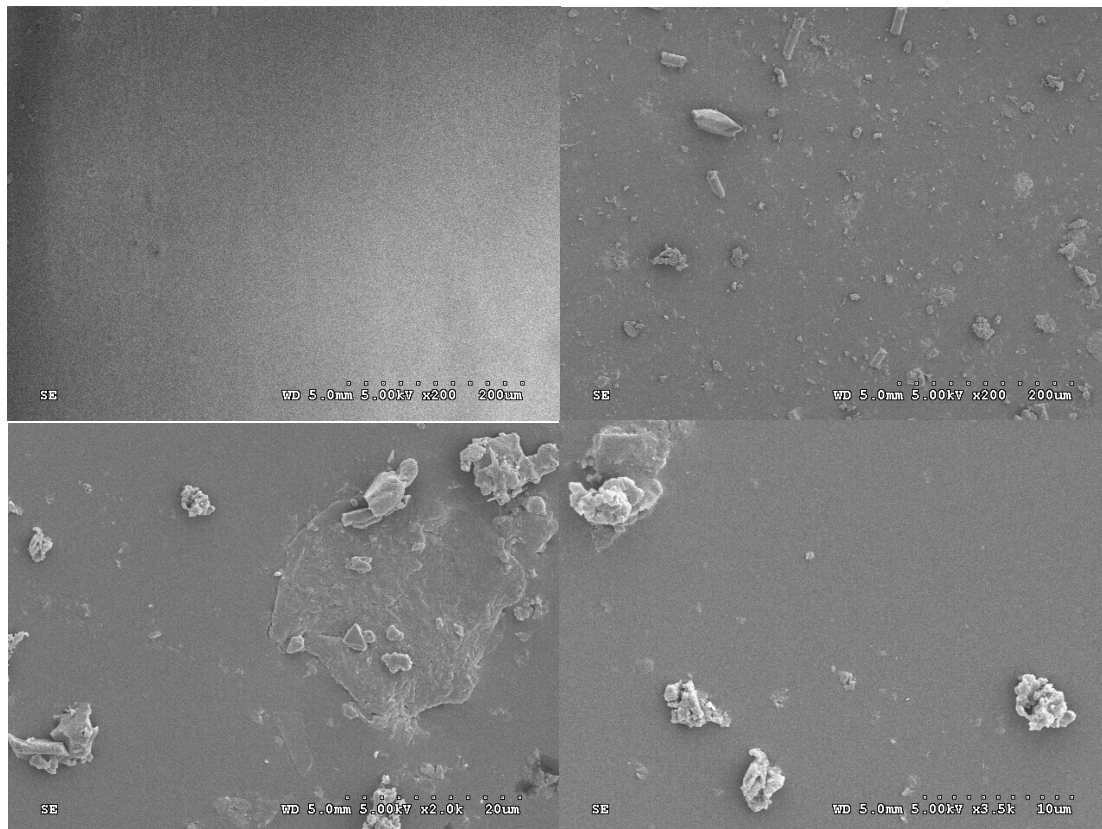


Figura 6.4. Fotografías al microscopio electrónico de barrido de PVC 200x (arriba a la izquierda), PRFV 200x (arriba a la derecha), PRFV 2000x (abajo a la izquierda), PRFV 3500x (abajo a la derecha).

Los valores numéricos que se utilizan para caracterizar la rugosidad se incluyen en parámetros como la rugosidad aritmética, R_a , o la rugosidad media R_z . La rugosidad aritmética, es la desviación media aritmética de las profundidades del perfil, y se mide en micrómetros. Los valores de R_a para aceros inoxidable aconsejados en las industrias

alimentarias son de: 0.2 μm , 0.4 μm ó 0.8 μm . Estos valores serán suficientes para limitar el ensuciamiento y optimizar las operaciones de limpieza y desinfección (EHEDG, 2004b).

Hay que apuntar que para mejorar el estado de superficie de un material metálico, no solamente hay que actuar sobre su aspecto mecánico, minimizando la rugosidad superficial, sino también sobre un aspecto físico químico con el fin de inhibir la adherencia de la suciedad a través de la pasivación.

En la línea de conocer la limpiabilidad de las superficies de los materiales de construcción de equipos utilizados en equipos de refrigeración para la conservación de alimentos, Firmesse et al. (2012) han estudiado la facilidad de limpieza que mostraban 10 de estos materiales, plásticos y metales. Los resultados muestran como los metales galvanizados mantienen la mayoría de la suciedad orgánica después de la limpieza, mostrando además características hidrófobas. Aunque el objetivo debe ser evitar la incrustación, según una publicación de Eurovent y Cecomaf (2002), el acero inoxidable y los materiales orgánicos son más efectivos que el acero galvanizado cuando se trata de la extracción de las incrustaciones.

En la siguiente tabla se ponen de manifiesto algunas características técnicas de limpieza de distintos materiales.

Tabla 6.2. Comparación de materiales termoplásticos con materiales convencionales en lo referente a algunas características técnicas de limpieza. +++: Muy alto, ++: Alto, +: Discreto, (+): Escaso, -: inesistente. (Wildbrett, 2000).

Características	Cristal	Acero Cr-Ni	Polietileno	PVC duro	PVC blando	Caucho NBR
Resist. a T^a	+++	+++	+	(+)	(+)	+
Dureza	+++ (frágil)	++ a ++	(+)	+	-	-
Mojado por soluciones acuosas	+++	+++	-	(+)	+	- a +
Mojado por grasas	+	+	+++	++	++ a ++	++
Tendencia a disolverse	(+) a +	- a +	-	-	+	+
Resistencia a envejecimiento	++ a +++	+++	(+) a +	(+) a +	(+) a +	(+) a +
Posibilidad de inmigración de suciedad	-	-	(+) a +	+	+ a ++	+ a ++
Posibilidad de emigración de sustancias contenidas	-	-	- a +	- a +	+ a ++	+ a ++
Resistencia a los microorganismos	+++	+++	+++	+++	- a (+)	- a (+)

Son de destacar el acero y el PVC, por ser los materiales que mejor mojado por soluciones de limpieza presentan, y menor adherencia de suciedad.

6.4. CONCLUSIONES.

Los condensadores evaporativos estudiados estaban fabricados con materiales muy sensibles a las agresivas condiciones de funcionamiento que sufren estos equipos, presentando un deterioro y envejecimiento acusado en la mayoría de los casos.

Los materiales utilizados en los condensadores evaporativos actuales no cumplen con los criterios de diseño higiénico. Se trata de materiales fácilmente ensuciados y difíciles de limpiar en comparación con los que se recomiendan para conseguir una higiene adecuada en equipos de proceso.

En definitiva, lo aconsejable es la utilización de materiales que resistan la corrosión y tengan una adecuada facilidad de limpieza y posterior desinfección minimizando el asentamiento de microorganismos y el ensuciamiento, y facilitando un buen mojado. Se deben buscar materiales poco afines a la adhesión de biofilms, en este sentido el PVC y el acero inoxidable muestran un comportamiento muy adecuado.

El acero inoxidable y el PVC son los materiales de construcción de elección lógica para equipos de enfriamiento evaporativo con un diseño higiénico.

CAPÍTULO 7

Diseño de un Nuevo Condensador Evaporativo

Parte del texto de este Capítulo ha sido publicado en el trabajo:

- López-Gómez A, Castaño-Villar AM, Hernández-Hernández ME, Palop A (2011) Innovative Evaporative Coolers, Cooling Towers and Evaporative Condensers, with Hygienic Design. *Proc. 23rd IIR Int Congress of Refrigeration*, Prague. Czech Republic.

7.1. INTRODUCCIÓN.

Los sistemas de refrigeración industrial son ampliamente utilizados para distintos fines industriales tales como el procesado y conservación de alimentos o la producción química así como con fines comerciales como es el acondicionamiento del aire ambiental o climatización de los edificios.

Dentro de estos sistemas, el condensador evaporativo es uno de los medios más usados para ahorrar energía ya que su utilización hace que el sistema refrigeración en cuestión ahorre hasta un 34% del consumo de energía en comparación con sus competidores directos, los condensadores enfriados por aire (Hosoz y Kilicarlan, 2004; IIR, 2006). Normalmente, estos equipos son fabricados usando materiales metálicos como el acero galvanizado y en menor frecuencia con polímeros plásticos resultando ambos inadecuados dadas las duras condiciones de operación a las que se ven sometidos. Además no son tomadas en cuenta las directrices de construcción necesarias para conseguir que presenten un diseño higiénico, es decir, para que dejen de ser equipos con una fuerte contaminación microbiana y con alto riesgo de transmisión de patógenos ambientales como *Legionella pneumophila*. Para mitigar el problema de ensuciamiento y contaminación microbiológica, están sometidos por ley a la obligatoriedad de limpiarlos al menos 2 veces al año según el procedimiento de limpieza manual descrito en la norma (R.D. 865/2003) y además a ser desinfectados mediante la dosificación en continuo de un desinfectante en el agua de enfriamiento. Sin embargo, ya se ha demostrado que estas medidas no son suficientes para evitar la presencia de *Legionella* en los equipos, y por lo tanto se siguen dando casos de brotes de legionelosis asociados a los equipos de enfriamiento evaporativo. La consecuencia de lo anterior es que los condensadores evaporativos están entrando en desuso a pesar de los beneficios energéticos y por lo tanto económicos y ambientales que generan.

En la industria alimentaria, los equipos de procesado de alimentos son fabricados teniendo en cuenta los criterios de diseño higiénico para evitar que los productos procesados se contaminen durante su fabricación y al mismo tiempo propiciar una fácil y eficaz limpieza. Esto se puede trasladar a los sistemas de refrigeración industrial y en particular al caso de los condensadores evaporativos. Lo ideal es introducir estas mejoras en la etapa inicial del diseño, lo que conllevará no sólo una

mejora de las condiciones higiénicas de los equipos, si no también aumentará su vida útil y reducirá el mantenimiento y en consecuencia los costes de operación. A veces, los requisitos higiénicos entran en conflicto con un diseño que satisfaga la función técnica del equipo o conlleva exigencias económicas que no se quieren adoptar. Por ello en el diseño se tiene que llegar a un acuerdo entre ambos planteamientos y compensar si es necesario con procedimientos de limpieza y desinfección adecuados. Finalmente el diseño higiénico y la aptitud para la limpieza deben ser evaluados con un procedimiento adecuado que demuestre la facilidad para la limpieza del equipo y que por tanto se cumplen los requisitos de higiene.

En este capítulo se presenta un nuevo tipo de condensador evaporativo que posee un adecuado diseño higiénico, que cumple, en su arquitectura y componentes, las normas básicas de diseño higiénico de equipos de procesamiento de alimentos líquidos, y que incorpora un sistema automático de limpieza del tipo CIP, que implica realizar la limpieza de forma automática y sin desmontar, que actúa de forma programada, y con la frecuencia adecuada, para garantizar unas buenas condiciones de higiene, y un control seguro de la contaminación de *Legionella*, ya que también posee un control automático y monitorizado de los tratamientos de desinfección.

Los resultados obtenidos del estudio y encuesta de los equipos muestreados (ANEXO I) permiten resaltar cuales son los principales aspectos a tener en cuenta para conseguir que el diseño de un condensador evaporativo sea higiénico.

Las características higiénicas que se describen a continuación para la construcción de condensadores evaporativos higiénicos y automáticos, no son directrices rígidas, si bien siempre se debe demostrar que los resultados de diseño higiénico conseguidos son satisfactorios mediante un ensayo de validación. Los resultados de este ensayo se presentan en el capítulo 8 de esta tesis.

7.2. RECOMENDACIONES GENERALES PARA EL DISEÑO HIGIÉNICO DE EQUIPOS DE ENFRIAMIENTO EVAPORATIVO.

Antes de entrar en detalle en la descripción de los requisitos de diseño de cada componente se dan las siguientes directrices generales:

Los materiales de construcción del equipo deben ser inertes frente al agua, los detergentes y los desinfectantes utilizados en el condensador evaporativo, evitando así la migración de sustancias que puedan ser aprovechadas por los microorganismos para su proliferación, como son los productos de la corrosión (EHEDG, 2004a).

Estos materiales de construcción tendrán un acabado de superficies adecuado, ya que las operaciones de limpieza y desinfección no tienen prácticamente eficacia si se tiene una rugosidad excesiva. Las superficies en contacto con el agua deben estar fabricadas con materiales no absorbentes, y satisfacer unos requerimientos de mínima rugosidad aritmética superficial ($R_a = 0,2 - 0,5 \mu m$) para que la acción mecánica de la limpieza sea eficaz (EHEDG, 2004a). Las superficies deben estar libres de grietas y huecos que puedan dar refugio a los microorganismos, y faciliten la formación de biofilms e incrustaciones.

Todas las superficies que mantengan contacto con el agua deben ser accesibles para su inspección, o bien deben estar dispuestas de forma que con el método de limpieza automático que se le aplique se consiga un adecuado nivel de higiene en el sistema (EHEDG, 2004a).

Todas las zonas interiores del equipo en contacto con el agua deberán tener una solución constructiva tal que se permita el drenado total de la misma, y de los productos de limpieza y desinfección que se utilicen, y facilitar la limpieza (EHEDG, 2004a).

Los encuentros entre superficies deberán estar redondeados para evitar que quede retenida suciedad.

En cuanto a los medios de fijación, en general, debe evitarse la utilización de tornillos con partes salientes en las zonas en contacto directo con el agua de refrigeración, ya que se puede acumular suciedad difícil de eliminar, pero si se utilizan

deben cumplir con las especificaciones dadas en las Figuras 7.1 y 7.2 siguientes. Así, serán de cabeza semiesférica y ésta se situará en el lado que contacta con el agua, además deben ser de un material no oxidable.

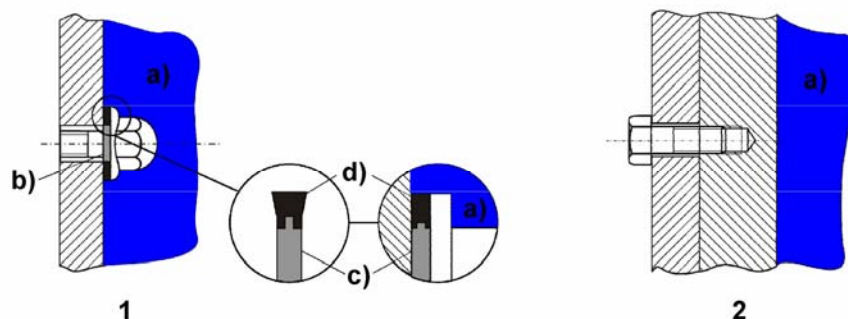


Figura 7.1. Soluciones de diseño higiénico de los elementos de fijación en zonas internas del equipo (EHEDG, 1996). 1. Diseño en contacto con el agua; 2. Diseño con superficie lisa; a) zona húmeda; b) junta elastomérica de uso alimentario; c) metal; d) elastómero.

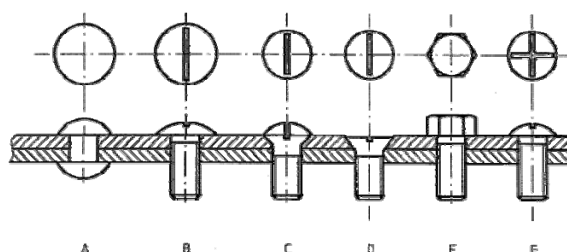


Figura 7.2. Medios de fijación para zonas del equipo en las que no hay un contacto directo con agua de proceso (Rosset, 2002).

Por último, el equipo se diseñará, en la medida de lo posible, para proteger el agua del interior de la contaminación externa. Por ello, es interesante que las superficies exteriores, y en general aquéllas que no estén en contacto directo con el agua de enfriamiento, se dispongan de forma que se evite la acumulación de suciedad y se facilite la limpieza (EHEDG, 1996).

7.3 DESCRIPCIÓN DEL CONDENSADOR EVAPORATIVO AUTOMÁTICO E HIGIÉNICO.

El nuevo diseño que se propone consta de un condensador evaporativo que incorpora todas las directrices de diseño higiénico posibles para lograr un equilibrio entre su funcionalidad técnica y los requisitos de higiene necesarios para que estos equipos sean mas fáciles de limpiar y desinfectar y mas difíciles de ensuciar y contaminar por microorganismos.

Se incorpora un sistema de limpieza CIP (ver Figura 7.3 y ANEXO IV) que permite realizar una limpieza y desinfección del equipo eficaz y de forma automática y sin desmontarlo. Se facilita, de esta manera, que la frecuencia de los procesos de limpieza y desinfección sea la necesaria para lograr un estado higiénico adecuado. Para ello el equipo debe contar con un sistema de control automático, con autómata programable, para el gobierno de las funciones de limpieza y desinfección de todas las partes del condensador evaporativo. Este sistema controlará la puesta en marcha y parada de los distintos motores de ventiladores y bombas, que estarán dotados o no de sistemas de variación o regulación de frecuencia o velocidad, y también la apertura y cierre de todas las válvulas automáticas que tengan los sistemas CIP y de distribución de agua sobre el paquete de tubos, y de reposición de la misma en la balsa inferior de agua, y de drenaje de esta agua. Con todo esto se consigue que estos equipos sean más seguros de cara al riesgo de proliferación de la bacteria *Legionella*, y puedan ser utilizados con todas las ventajas que ello supone.

Los condensadores pueden diseñarse con un sistema de distribución de aire de tiro inducido (Figura 7.3) o bien de tiro forzado (Figura 7.7). No obstante, los resultados de los análisis y las inspecciones realizadas en las visitas a la empresas mostraron que los equipos de tiro forzado presentaban un mejor estado higiénico que los de tiro inducido. Por ello, para construir el prototipo de equipo para planta piloto, se utilizó el sistema de tiro forzado, si bien, se diseñaron gráficamente ambos tipos de equipos.

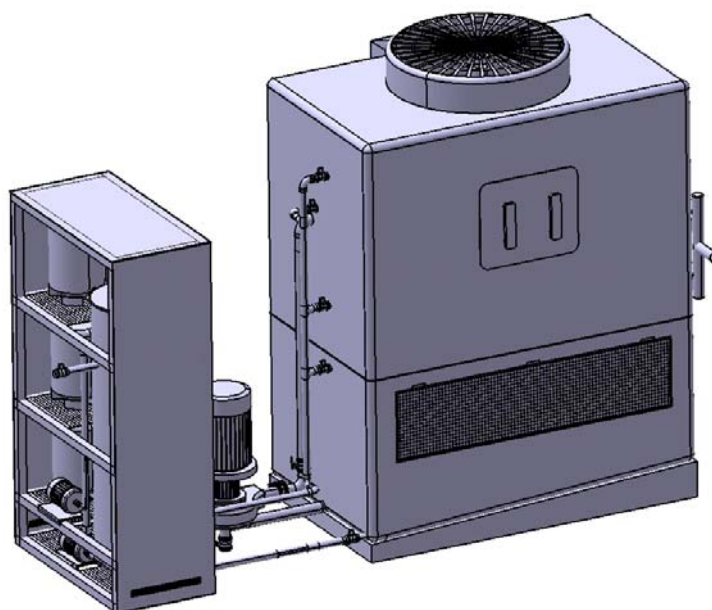


Figura 7.3. Diseño exterior de un condensador evaporativo automático e higiénico con unidad CIP acoplada.

7.3.1. DESCRIPCIÓN DEL PAQUETE DE INTERCAMBIO DE CALOR.

Este puede consistir en uno o varios intercambiadores de calor, que pueden ser de tubos, de sección circular, sección aplastada (ver Figura 7.4) o cualquier otra sección, o de placas, con cualquier configuración de las mismas, en cuyo interior se produce la condensación del fluido refrigerante de la instalación frigorífica a la que está conectado este condensador. El material más adecuado es el acero inoxidable de calidad AISI 316 y éste debe contar con un buen acabado superficial y uniones soldadas de tipo higiénico (EHEDG, 1993) que serán continuas y sin imperfecciones, y de no ser posible deberán ser pulidas.

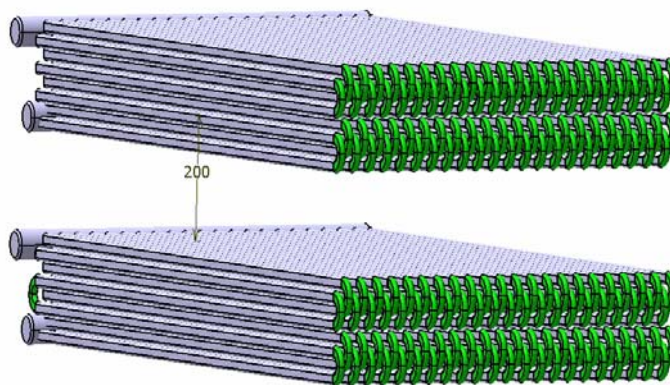


Figura 7.4. Dos baterías de tubos aplastados, separadas para permitir intercalar un sistema de limpieza CIP.

7.3.2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE SEPARACIÓN DE GOTAS DE AGUA.

Dentro los posibles materiales, el PVC es el que menor número de incrustaciones presentaba en las instalaciones visitadas. Además admite bien las aguas corrosivas. Es un material muy resistente y que soporta la desinfección química con cloro y peróxidos.

El diseño más adecuado es el de tipo lamas curvadas o quebradas, que consiguen parar las microgotas por simple impacto sobre su superficie, volviendo éstas a la balsa del equipo por gravedad. Ver Figura 7.5.

Para facilitar su limpieza la disposición en la estructura del separador debe ser de dos pliegues.

Otro aspecto de gran importancia es la colocación del separador de gotas, ya que una colocación descuidada sobre el marco de soporte puede dar lugar a la salida de gotas.

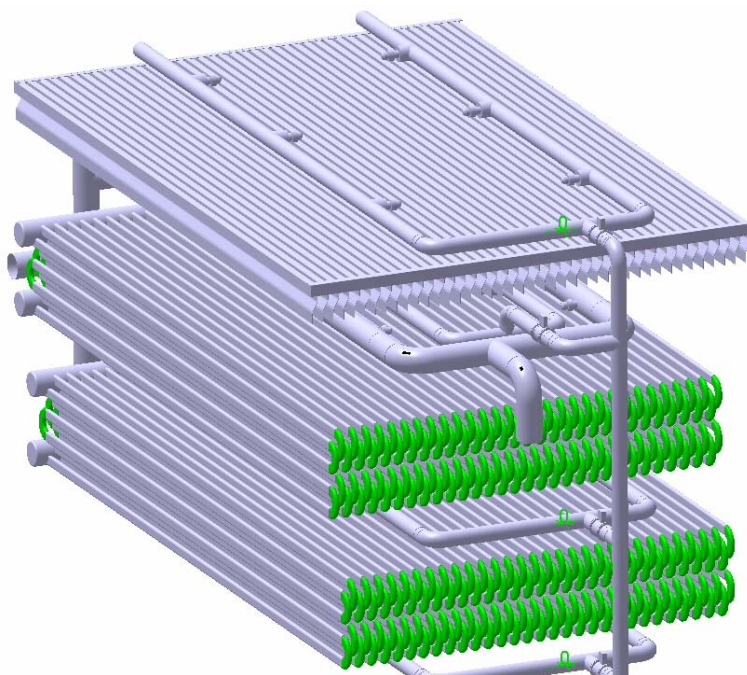


Figura 7.5. Red de tuberías del sistema de limpieza y desinfección, sistema de rociado de agua, paquete de tubos de intercambio de calor y separador de gotas, con diseño higiénico.

7.3.3. DESCRIPCIÓN DE LA Balsa INFERIOR Y DEL CERRAMIENTO.

La balsa de acumulación del agua recirculada, tendrá un fondo inclinado hacia la boca de vaciado, y una solución de diseño, por ejemplo mediante uniones achaflanadas, que permita el autodrenado total de toda el agua que contenga, y también de las soluciones de lavado y desinfección. De esta manera se evita el estancamiento del agua de refrigeración y se disminuye el tiempo de la operación de limpieza (Figura 7.6). Lo conveniente es construirla en acero inoxidable ya que este elemento del condensador está en continuo contacto con un agua de características químicas agresivas, siendo aceptable una calidad AISI 304 o superior.

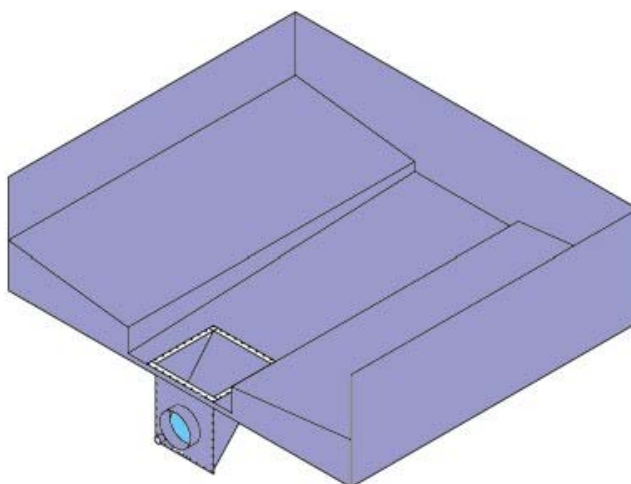


Figura 7.6. Ejemplo simplificado de diseño de bandeja inferior de recogida de agua de enfriamiento que permite el vaciado total del equipo. Los encuentros tienen que ser redondeados.

En cuanto a las paredes del cerramiento o carcasa, y los soportes del mismo, deben construirse con un material que soporte la agresividad del agua (acero inoxidable AISI 304 o superior) y disponerse geométricamente de modo que no puedan quedar alojadas ni el agua ni la suciedad, es decir, deben facilitar el escurrido, evitando en todo caso escalones horizontales donde pueda permanecer el agua y la suciedad. Además la rugosidad superficial (sobre todo la de las superficies interiores en contacto con el agua) debe ser tal que facilite la limpieza y no haya imperfecciones que sirvan de refugio para microorganismos o que retengan la suciedad. También hay que evitar el contacto del agua con uniones roscadas donde se pueda alojar suciedad, así como esquinas en ángulos menores de 90° , teniendo que estar los encuentros redondeados, preferentemente, con un radio igual o superior a 6 mm (EHEDG, 2004a).

7.3.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN.

Puede estar compuesto, en función de la capacidad térmica del equipo, por uno o varios ventiladores para el movimiento del aire a través del exterior del intercambiador de calor, con disposición y funcionamiento que implique tiro inducido o tiro forzado. Estos ventiladores pueden ser de tipo axial o de tipo centrífugo.

Los ventiladores están encargados del movimiento de un caudal apropiado de aire que circulará de abajo a arriba, por el interior del cuerpo del condensador evaporativo, entrando por las ventanas, y según un flujo a contracorriente respecto del agua que se rocía sobre el intercambiador.

Hay que tener en cuenta que, en el condensador de tiro inducido, el equipo queda más expuesto a los contaminantes exteriores y a la luz que entran por la parte superior del equipo sobre todo cuando está parado.

La entrada de aire se produce a través de unas ventanas provistas de rejillas que deben proteger lo máximo posible al equipo del ingreso de partículas extrañas procedentes del exterior así como de la luz, la cuál será vital para el desarrollo de microorganismos en el interior. Una solución de diseño higiénico para este aspecto es el uso de lamas de sobrepresión en las aberturas de entrada y salida del aire (Figura 7.7). Esto hace que cuando no estén funcionando los ventiladores no pase dentro del equipo la luz ni las partículas arrastradas por el aire. Además evita que se produzcan salpicaduras al exterior. Como complemento se pueden acoplar mallas en las aberturas de admisión para evitar la entrada de partículas sólidas de gran tamaño mientras los ventiladores están en marcha.

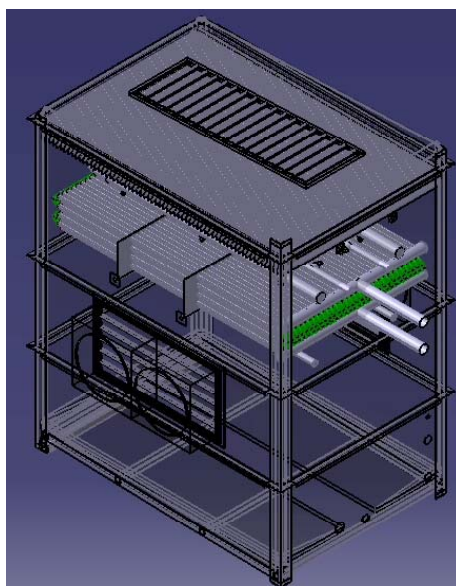


Figura 7.7. Vista interior de un condensador evaporativo con diseño higiénico.

7.3.5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE BOMBEO Y ROCIADO DE AGUA.

La bomba de recirculación de agua debe tener un diseño y montaje higiénico. De tipo centrífugo, con cuerpo y rodete de acero inoxidable de calidad AISI 316 y buen acabado superficial. Debe estar orientada verticalmente con la salida de impulsión en la parte inferior, para así facilitar el drenado (Figura 7.8). Las tuberías de aspiración e

impulsión deben ser de un material que resista la corrosión, tal como el acero inoxidable AISI 304 para soportar las condiciones de funcionamiento a la intemperie y de PVC para la parte interior del sistema, donde se distribuye el agua sobre la batería de intercambio de calor para provocar un enfriamiento evaporativo del fluido frigorígeno. Las boquillas de distribución de agua tienen que cumplir dos características. Por un lado tienen que proporcionar una adecuada pulverización sobre el intercambiador, para que el agua de refrigeración esté bien distribuida sobre el mismo cubriendo toda su superficie y por otro, no deben estar fabricadas con un material sensible a incrustaciones y a la corrosión. Para esto lo más adecuado es el uso de boquillas de acero inoxidable AISI 316.

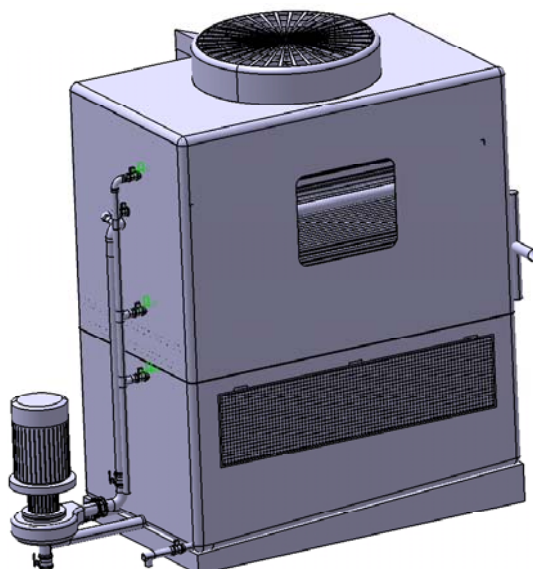


Figura 7.8. Vista exterior del sistema de distribución de agua.

7.3.6. DESCRIPCIÓN DE LA RED DE TUBERÍAS Y BOQUILLAS DE DISTRIBUCIÓN DE SOLUCIONES DE LAVADO Y DESINFECCIÓN.

Las condiciones de funcionamiento y gran parte de las características técnicas que tiene que cumplir este sistema de conducción y aplicación de las soluciones de limpieza y desinfección, han sido ya explicadas en el capítulo 5 de esta tesis. Si bien se completa aquí lo anterior, con la especificación de algunos detalles constructivos no incluidos en aquel capítulo.

La red de tuberías de limpieza y desinfección debe estar construida con materiales que resistan las condiciones químicas de las soluciones de lavado ácido y alcalino, así como la agresividad del desinfectante durante su aplicación.

Para la parte exterior de este sistema, las tuberías deben estar fabricadas en acero inoxidable AISI 316, que tiene una mayor resistencia y durabilidad que el PVC. No obstante, la parte interior del condensador si que puede contar con tuberías de ese material plástico.

En cuanto a las boquillas, ya se comentó que el material de fabricación adecuado debía ser el acero inoxidable de calidad AISI 316, recomendándose el uso del tipo spray balls fijas con ángulo de aspersión de 360°.

Aunque como ya se ha dicho, todo sistema de limpieza y desinfección debe ser validado, a la vista de los equipos en servicio, de las zonas de acumulación de suciedad y de sus defectos de diseño higiénico, parece recomendable colocar las boquillas de modo que apliquen las soluciones de lavado incidiendo especialmente sobre los tubos de la batería de intercambio y el separador de gotas, que son dos elementos donde más dificultad puede tener para llegar el agua. Si bien, la limpieza debe aplicarse sobre todas las superficies interiores del condensador. Además, es recomendable no colocarlas a una distancia superior a los 200 mm de la superficie a limpiar para conseguir así una buena eficacia.

En la Figura 7.9 se aprecia el detalle de los sectores cuya limpieza se realiza por separado para lo cual el sistema CIP se debe programar con una secuencia en la que se alterna la limpieza entre un sector y otro.

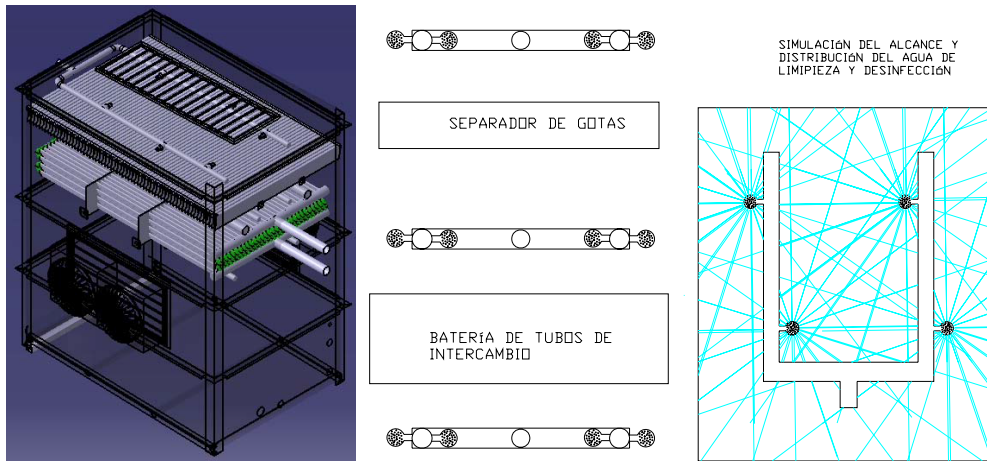


Figura 7.9. Esquema de distribución de las tuberías y boquillas de limpieza y desinfección.

7.4. CONCLUSIONES.

Las innovaciones que incorpora este nuevo condensador evaporativo son las siguientes:

- (i) Tiene un diseño adaptado según los principios de diseño higiénico de los equipos de procesamiento de alimentos que garantiza una adecuada limpieza, porque todas las zonas internas del condensador son accesibles para el sistema de limpieza automático.
- (ii) Lleva acoplado un sistema automático de limpieza y desinfección, que funciona sin desmontar ninguna parte del equipo, que garantiza una correcta limpieza y desinfección y un adecuado control de la contaminación por *Legionella*, y minimiza la necesidad de mano de obra.
- (iii) Posee un intercambiador de calor donde se realiza la condensación, de tipo higiénico e innovador, que favorece la limpieza y desinfección y, al mismo tiempo, una gran eficacia térmica.

CAPÍTULO 8

Validación del Comportamiento Térmico e Higiénico del Nuevo Condensador Evaporativo

Parte del texto de este Capítulo ha sido publicado en el trabajo:

- López-Gómez A, Castaño-Villar AM, Hernández-Hernández ME, Palop A (2011) Innovative Evaporative Coolers, Cooling Towers and Evaporative Condensers, with Hygienic Design. *Proc. 23rd IIR Int Congress of Refrigeration*, Prague. Czech Republic.

8.1. INTRODUCCIÓN.

El condensador evaporativo es un intercambiador de calor compacto que combina las funciones de un condensador refrigerado por aire, un condensador refrigerado por agua y una torre de refrigeración. Dado que los condensadores evaporativos ofrecen temperaturas de condensación limitadas por la temperatura ambiental de bulbo húmedo, que es casi siempre inferior a la temperatura de bulbo seco, los sistemas de refrigeración con estos tipos de condensadores pueden trabajar con temperaturas más bajas de condensación, y por lo tanto usan la energía más eficientemente. En consecuencia, los sistemas con estos tipos de condensadores tienen un mayor coeficiente de rendimiento y capacidad de refrigeración comparados con los sistemas que poseen un condensador refrigerado por aire. Además, los condensadores evaporativos requieren una velocidad de flujo de aire inferior que la del condensador enfriado por aire por el hecho de que estos tipos de condensadores se basan en la transferencia de calor no sólo sensible sino también latente, lo que conlleva un ahorro en el consumo eléctrico de los ventiladores.

Los condensadores evaporativos, por lo general, se fabrican con tuberías de acero al carbono que posteriormente son galvanizadas por inmersión en caliente. Esto se hace como medida para proteger el exterior del intercambiador de calor contra la corrosión y comercialmente es lo más extendido en el mercado. No obstante mediante pedidos especiales se comercializan también en acero inoxidable, caracterizados por su alta resistencia a la corrosión y mejor comportamiento frente a la formación de incrustaciones. Así los condensadores evaporativos de acero galvanizado tienen una vida útil muy limitada, ya que requieren una alimentación constante de químicos para reducir pero no para evitar, las incrustaciones y la corrosión que reducen la capacidad de intercambio de calor y disminuyen su vida útil. Por ello, será necesario operar a presiones de compresión mayores, lo que genera un mayor consumo eléctrico.

En cuanto a los sistemas CIP, hay que decir que es sobradamente conocido que este tipo de sistemas, adecuadamente diseñados, y manejados aseguran el éxito de las operaciones de limpieza, las cuales serán esenciales para alcanzar la desinfección del agua de enfriamiento y de las superficies del equipo. No obstante, la aptitud higiénica de un equipo necesita ser verificada, bien como mecanismo para la mejora del diseño

higiénico o bien para evaluación de riesgos en las industrias que usan dichos equipos. Así la inspección, el ensayo y la validación del diseño son esenciales para comprobar que se cumplen los requisitos. Por ello, es por lo que se han desarrollado diversos métodos científicos a tal fin.

En la industria alimentaria el método más reconocido internacionalmente es el descrito por el EHEDG (2004a) para la comprobación de la limpiabilidad *in situ* de equipos para el procesado de alimentos. Pese a la validez del método, tiene la limitación del tipo de equipo al que es aplicable, puesto que solo se puede utilizar en equipos cerrados y relativamente pequeños que puedan conectarse a un sistema CIP, tales como bombas, caudalímetros o válvulas. Este procedimiento está diseñado para indicar las zonas con un diseño higiénico deficiente en esos equipos. El grado de limpieza se basa en la eliminación de una solución ensuciadora que contiene bacterias y se valora evaluando el crecimiento de éstas que queda después de la limpieza.

Además, existen otros métodos de comprobación que permiten evaluar la fiabilidad higiénica de los equipos empleados en el procesado de productos sensibles: alimentos, medicamentos, etc. En todos ellos, los análisis microbiológicos constituyen uno de los métodos de evaluación de la higiene de los equipos y sus superficies que son el origen de las contaminaciones cruzadas. Junto con estos análisis, las inspecciones visuales son una herramienta más, necesaria para evaluar los diseños y la limpiabilidad de un equipo (AENOR, 1998). Así la norma UNE 100012:2005 para la evaluación de la higiene de los sistemas HVAC, establece que la evaluación del sistema consiste en la inspección visual de sus elementos, la realización de un muestreo del estado de superficies y la realización de un análisis de la calidad del aire de ventilación.

En definitiva lo que se quiere comprobar con cualquiera de estos métodos de valoración del estado higiénico, es si la limpieza y desinfección han reducido la población microbiana hasta un nivel aceptable, por debajo del cual las operaciones de higienización realizadas se consideran eficaces.

Al no existir para equipos de enfriamiento evaporativo ningún método específico, se ha elaborado uno para la ocasión, teniendo en cuenta los métodos descritos en diversos trabajos de investigación que detallan los sistemas CIP y su evaluación, así como el test de limpiabilidad del EHEDG (2004a) y la problemática

específica de estos equipos de refrigeración industrial. Estos test, indican el procedimiento a seguir para evaluar la limpieza y desinfección de los equipos de procesado en la industria alimentaria y se han adaptado para aplicarse en un condensador evaporativo automático e higiénico.

Por todo lo anterior, en este capítulo se evalúa el comportamiento energético de un condensador evaporativo automático e higiénico, poniendo de manifiesto la bondad de sus características térmicas.

Además, se ha realizado el análisis del comportamiento del sistema de limpieza y desinfección, validando los programas automáticos de limpieza y desinfección, y la capacidad del condensador para limpiarse y desinfectarse completamente, cumpliendo con las normas del EHEDG. Se han desarrollado una serie de pruebas en laboratorio y en taller con el prototipo construido, que en base a métodos de valoración habituales en los equipos de la industria alimentaria evalúan la limpiabilidad del condensador.

8.2. VALIDACIÓN DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO.

Se ha realizado un análisis del comportamiento térmico de un condensador evaporativo construido según los criterios y recomendaciones recogidos en los capítulos anteriores de esta tesis. Se han determinado los coeficientes globales de intercambio de calor, la cantidad de agua evaporada, la eficacia del uso de la superficie de intercambio de calor sensible y latente, la potencia térmica desarrollada, y el consumo energético, entre otros parámetros. En definitiva, se ha validado su comportamiento térmico para demostrar que tendrá el mismo rendimiento energético que los condensadores evaporativos actuales.

8.2.1. Resultados de los ensayos de consumos de agua y energía.

Las Figuras 8.1 a 8.7 muestran la evolución de la temperatura de descarga del R-22, la evolución de la temperatura de condensación, la evolución de la temperatura del aire a la entrada del prototipo, la evolución de la humedad relativa del aire a la entrada, evolución de la temperatura del aire a la salida del prototipo, la evolución de la humedad relativa del aire a la salida y la evolución de la velocidad del aire a la entrada de los ventiladores, respectivamente. Los valores presentados se corresponden con los de un comportamiento normal de estos equipos (Baltimore, 2005; Evapco, 2000; Sulzer,

2012), con los que se logra una temperatura de condensación (Figura 8.2) inferior que con los condensadores enfriados por aire. Por este motivo no será necesario utilizar presiones de trabajo tan elevadas y se ahorrará energía. Durante el proceso de condensación del refrigerante se libera a la atmósfera el calor extraído al fluido mediante, fundamentalmente, la evaporación de agua. Este proceso se consigue gracias al establecimiento de un estrecho contacto entre el agua de enfriamiento y una corriente de aire, de forma que mediante la evaporación del agua, la mayoría del calor se transfiere al aire, el cual se descarga a la atmósfera más caliente y saturado (Figuras 8.3 a 8.6).

Los ensayos se han realizado con el compresor de la instalación frigorífica trabajando en un punto cercano al 100% de capacidad, y trabajando con un 75% de capacidad.

Para cada uno de los casos, se han realizado las mediciones cuando se alcanzaban las condiciones de estado estacionario, aproximadamente, cuando no cambiaban las temperaturas de descarga, ni de salida del condensado, ni la potencia absorbida por el compresor frigorífico de la unidad enfriadora de aire, ni las condiciones del aire entrante y saliente al condensador. En las Figuras 8.1 y 8.2 se observan dos tramos, correspondientes a las dos capacidades de trabajo ensayadas. Los valores medios obtenidos en estos ensayos se muestran en la Tabla 8.1.

Tabla 8.1. Condiciones de estado estacionario que alcanzaba la instalación, medidas cuando el compresor funcionaba a potencia cercana a la máxima y a potencia reducida, respecto de la máxima.

Capacidad del compresor	≈ 100%	≈ 75%
Potencia absorbida por el compresor	32,1 kW.	25,9 kW.
Temperatura de descarga, del R-22	94,0°C.	89,7°C.
Temperatura de condensación, del R-22, de salida del condensador	39,0°C.	36,7°C.
Caudal másico de fluido frigorígeno R-22	0,467 kg/s.	0,409 kg/s.
Potencia frigorífica desarrollada por el condensador	98,05 kW.	87,12 kW.
Caudal volumétrico de aire de los ventiladores	9.265,81 m ³ /h.	9.300,20 m ³ /h.
Temperatura del agua en el condensador	30°C.	31°C.
Temperatura y HR de entrada del aire	19,2°C y 40,6%.	21,7°C y 35,8%.
Temperatura y HR de salida del aire	22,3°C y 100%.	23,2°C y 91,3%.
Velocidad del aire en la entrada de los ventiladores	4,9 m/s.	5,0 m/s.

En estos ensayos, se pone de manifiesto que se alcanza prácticamente la potencia frigorífica de diseño del condensador evaporativo prototipo, establecida en 100 kW.

Cuando el compresor de la instalación trabaja a una capacidad cercana al 75%, se observa que el aire ya no sale con una humedad relativa (HR) del 100%, y el incremento de temperatura del aire es menor que en el caso anterior (en este caso se incrementa 1,5°C, mientras que antes se incrementaba del orden de 3°C). Esto significa que el condensador tiene una potencia superior a la desarrollada por el compresor en condiciones de regulación de potencia (al 75%). Se podría reducir el caudal de aire hasta llevarlo a las condiciones de saturación, mediante un variador de velocidad instalado en los ventiladores (ASRHAE, 2005). De esta manera, se conseguiría un ahorro energético significativo, en el motor eléctrico de accionamiento de los ventiladores.

La cantidad de agua evaporada, cuando trabaja al máximo de potencia frigorífica el condensador fue de 124,64 kg/h. Esta cantidad, si la dividimos por la potencia frigorífica del condensador, se obtiene un ratio de 1,27 kg agua / kW·h, para el agua evaporada, lo que equivale a que por cada 1000 kJ de calor extraído se evaporan 0,35L de agua. La cantidad arrastrada que atraviesa el separador de gotas es del orden de 0,002 (calculada como el ratio de agua perdida (L/h) / caudal de agua de recirculación (L/h), que se aplica sobre la batería del condensador evaporativo), para las velocidades de aire que se han manejado en este equipo. Esto implica un ratio de 0,43 kg agua / kW·h, para el agua arrastrada. Esto hace un total de consumo de agua (por evaporación y arrastre) de 1,70 kg agua / kW·h. En estas condiciones de trabajo, se ha obtenido un coeficiente global de transmisión de calor fluido frigorígeno / agua, de 387,20 W/m²·°C, suponiendo constante la temperatura del agua que se recircula, en las condiciones aproximadas de estado estacionario.

De los resultados anteriores, se deduce que se tienen buenos coeficientes globales de transmisión de calor y pequeñas pérdidas de agua por arrastre. Estos resultados de funcionamiento de un condensador evaporativo con diseño higiénico son similares a los parámetros de funcionamiento de condensadores evaporativos comercializados en la actualidad (Aguilera, 2006; Hosoz y Kilicarslan, 2004).

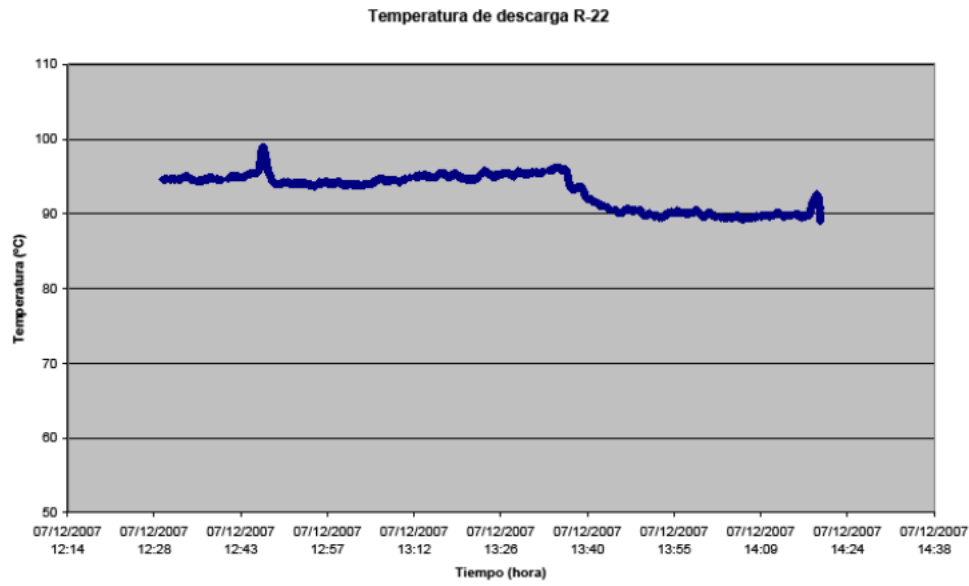


Figura 8.1. Evolución de la temperatura de descarga del R-22, a la entrada del prototipo de condensador evaporativo. En el primer tramo $T_d = 94,0^{\circ}\text{C}$, mientras que en el segundo $T_d = 89,7^{\circ}\text{C}$.

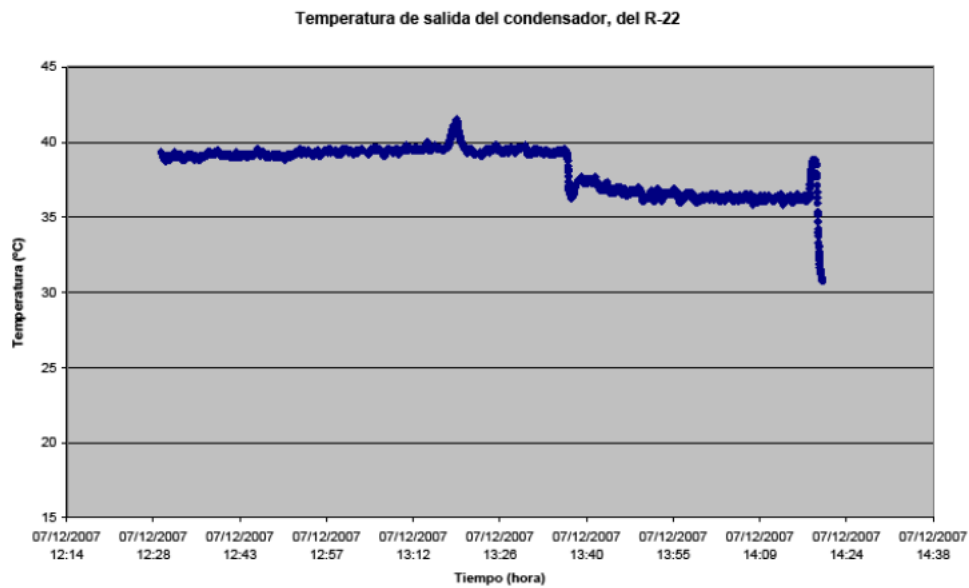


Figura 8.2. Evolución de la temperatura de condensación del R-22, a la salida del prototipo de condensador evaporativo. En el primer tramo $T_c = 39,0^{\circ}\text{C}$, mientras que en el segundo $T_c = 36,7^{\circ}\text{C}$.

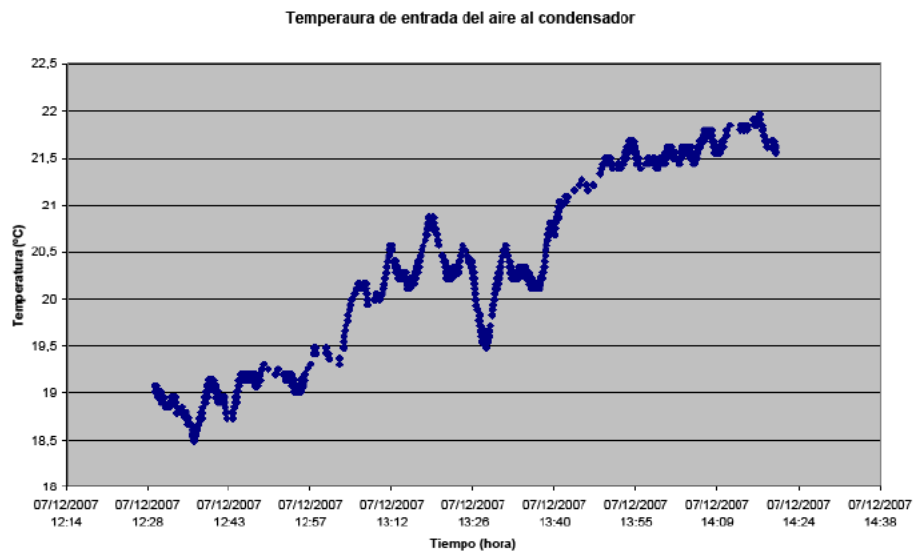


Figura 8.3. Evolución de la temperatura de entrada del aire al prototipo de condensador evaporativo.

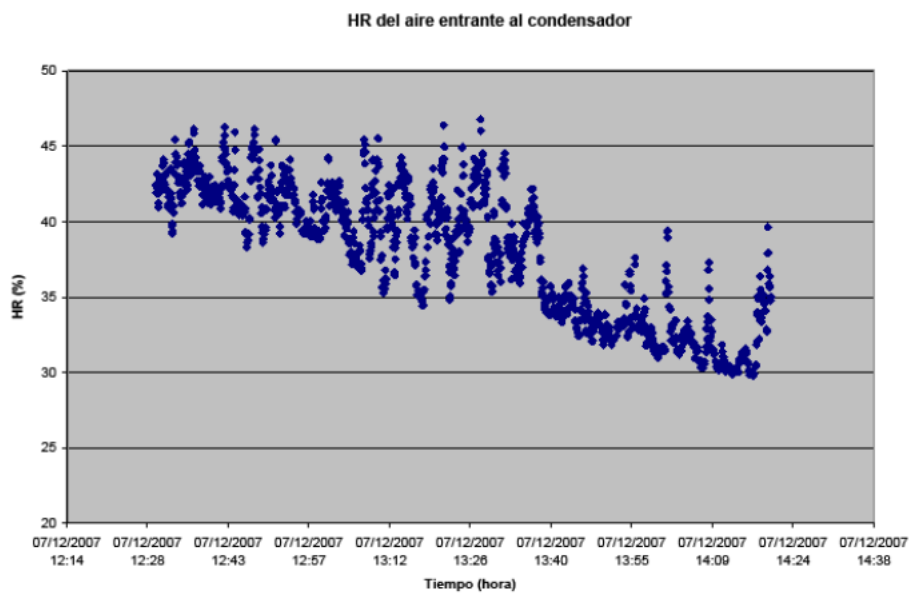


Figura 8.4. Evolución de la Humedad Relativa (HR, en %) del aire, a la entrada del prototipo de condensador evaporativo.

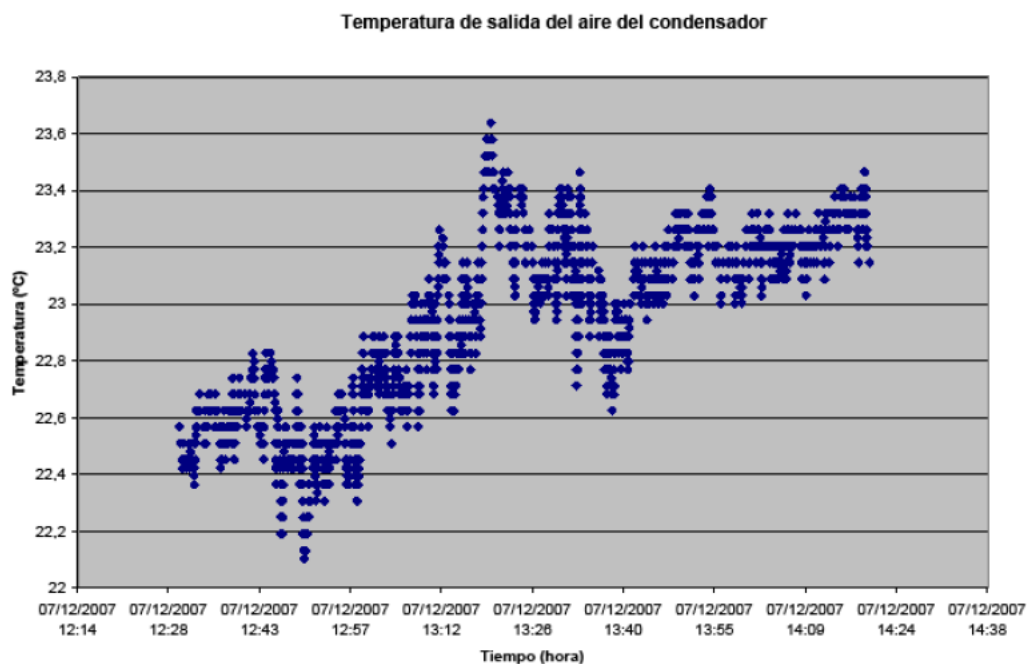


Figura 8.5. Evolución de la temperatura del aire a la salida del prototipo de condensador evaporativo.

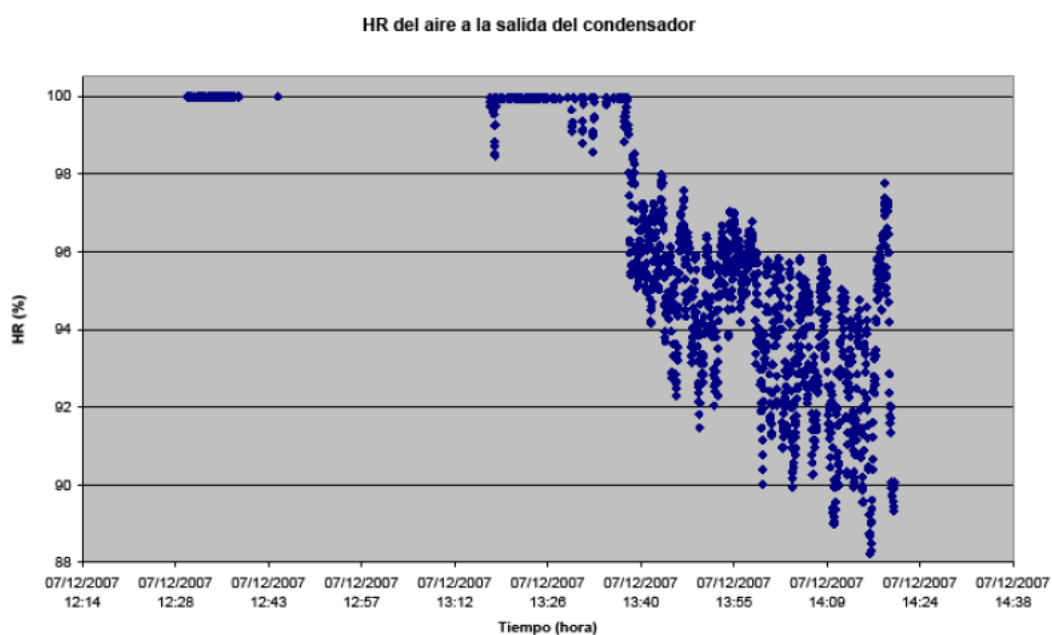


Figura 8.6. Evolución de la HR del aire a la salida del prototipo de condensador evaporativo.

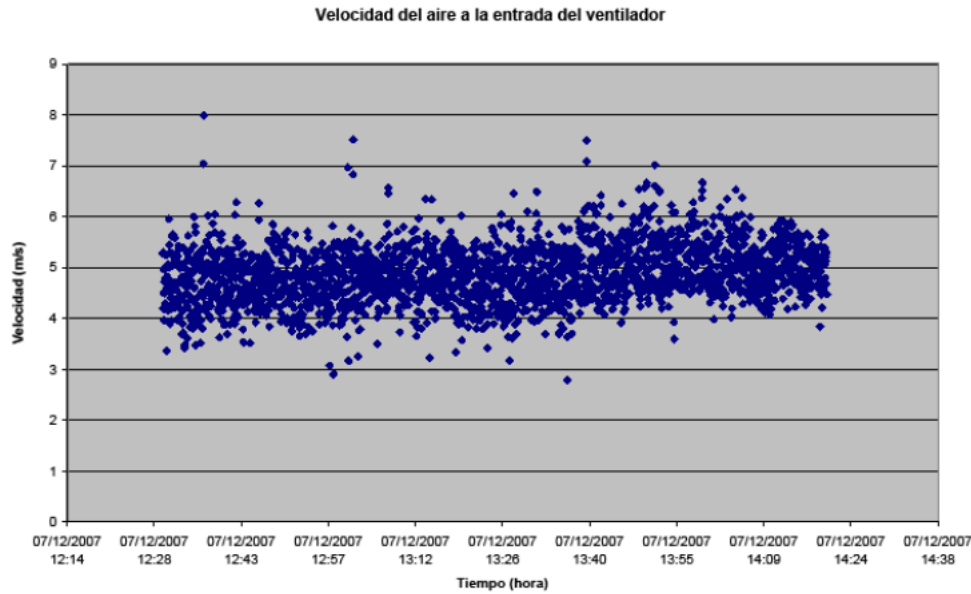


Figura 8.7. Evolución de la velocidad del aire a la entrada de los ventiladores del prototipo de condensador evaporativo.

Como comentario adicional relacionado con la bondad térmica de un condensador evaporativo automático e higiénico se puede apuntar lo siguiente. El acabado en espejo de los tubos de acero inoxidable hace que las incrustaciones, y el ensuciamiento en general, se reduzcan y sean fáciles de eliminar, lo que, unido a que se trata de un equipo con limpieza automática y frecuente, consigue que la eficiencia térmica se pueda mantener prácticamente al máximo (Qureshi y Zubair, 2005). Además debido a que la batería de tubos del intercambiador de calor está construida en acero inoxidable, con una pared mucho más delgada que la del acero al carbono, se requiere mucha menor área de intercambio de calor para lograr la misma eficiencia de disipación de calor, y con esto se ahorra peso con respecto a un equipo convencional.

En definitiva se trata de un equipo que, bien manejado y controlado, utiliza menos energía que uno convencional.

8.3. VALIDACIÓN DEL DISEÑO HIGIÉNICO Y DE LA EFICACIA DEL SISTEMA DE LIMPIEZA Y DESINFECCIÓN.

La inspección visual es el primer paso para la verificación del estado de higiene de un sistema. Para realizarla se deben utilizar herramientas como fotografías y filmaciones (AENOR, 2005). De ellas se puede dirimir si el sistema está contaminado por suciedad residual o crecimiento microbiano adsorbido en las superficies. Posteriormente el muestreo del estado de las superficies indica la potencialidad del sistema para distribuir contaminantes en el agua y aire, y si el resultado de la limpieza y desinfección ha sido satisfactorio, o no. Igualmente, el análisis microbiológico del agua de recirculación y el ambiente, y el muestreo de materia particulada, indican el estado higiénico del sistema en el momento de realización de los mismos.

8.3.1. Evaluación de la limpiabilidad en laboratorio.

Dentro de los condensadores evaporativos la batería de intercambio y los separadores de gotas son los elementos clave a tener en cuenta a la hora de limpiar y desinfectar. Ambos elementos por su disposición dentro del equipo pueden suponer un nido de suciedad importante, que además al no presentar un diseño higiénico son muy difíciles de limpiar. Por esto deben ser considerados como puntos críticos dentro del equipo.

La limpiabilidad se evaluó ensuciando cada componente con un agente de ensuciamiento que simula la suciedad característica de los condensadores evaporativos.

En los intercambiadores de calor por agua es común la formación de incrustaciones debido a la precipitación de materiales inorgánicos, tales como el carbonato cálcico, fosfato cálcico, sílice y sales de magnesio, condicionada esta precipitación principalmente por el pH y temperatura del agua (ASHRAE, 1999). Además, en los condensadores evaporativos el aire pasa desde el exterior al interior del equipo arrastrando gran cantidad de contaminantes orgánicos que sirven de nutrientes para el crecimiento microbiano.

En base a estas consideraciones se ha utilizado como suciedad inorgánica modelo una pasta de carbonato magnésico (talco), y como suciedad modelo orgánica una pasta de harina de maíz.

8.3.1.1. Limpiabilidad del separador de gotas.

Este componente fabricado con materiales plásticos como el PVC posee multitud de ángulos y esquinas que son recovecos difíciles de limpiar por los sistemas manuales que se utilizan comúnmente. No obstante, para estos ensayos se ha utilizado un separador de gotas seleccionado por tener un diseño higiénico bastante conseguido (Fotos 8.1 y 8.2).

El programa que se ha aplicado (Tabla 8.2.) para la limpieza de la suciedad orgánica utiliza como agente de limpieza el hidróxido sódico en una disolución al 1%, que es una concentración típica en los sistemas CIP que se utilizan en la industria alimentaria.



Foto 8.1. Disposición del separador de gotas y las boquillas de aplicación de las soluciones de lavado.

Tabla 8.2. Programa de limpieza alcalino del separador de gotas.

Etapas de trabajo	Líquido / Tª	Concentración %	Duración (minutos)
Prelavado	Agua / 20°C	-	10
Lavado alcalino	Sol. de NaOH / 20°C	1	10
Enjuagado	Agua / 20°C	-	10

La inspección visual revela el éxito del método de limpieza CIP aplicado sobre el separador, al eliminar todos los restos de suciedad visibles (ver Foto 8.2).



Foto 8.2. Imágenes del separador de gotas antes (izquierda) y después (derecha) de limpiarlo con un programa de limpieza alcalino.

Además, se ha realizado un ensuciamiento inorgánico en el separador de gotas simulando las incrustaciones calcáreas típicas de los condensadores evaporativos (ver Foto 8.3). Para ello se ha utilizado una pasta de talco en polvo al 50% con agua desmineralizada.

La suciedad inorgánica modelo, una vez seca, se sometió al programa de lavado recogido en la Tabla 8.3.

Tabla 8.3. Programa de limpieza ácido del separador de gotas.

Etapas de trabajo	Líquido / T^a	Concentración %	Duración (minutos)
Prelavado	Agua / 20°C	-	10
Lavado ácido	Sol. de HNO ₃ / 20°C	1	10
Enjuagado	Agua / 20°C	-	10

Esta suciedad se presenta bastante persistente en las superficies una vez que se ha secado, pero la acción mecánica y química del agua convenientemente aplicada consigue una buena limpieza (ver Foto 8.3).

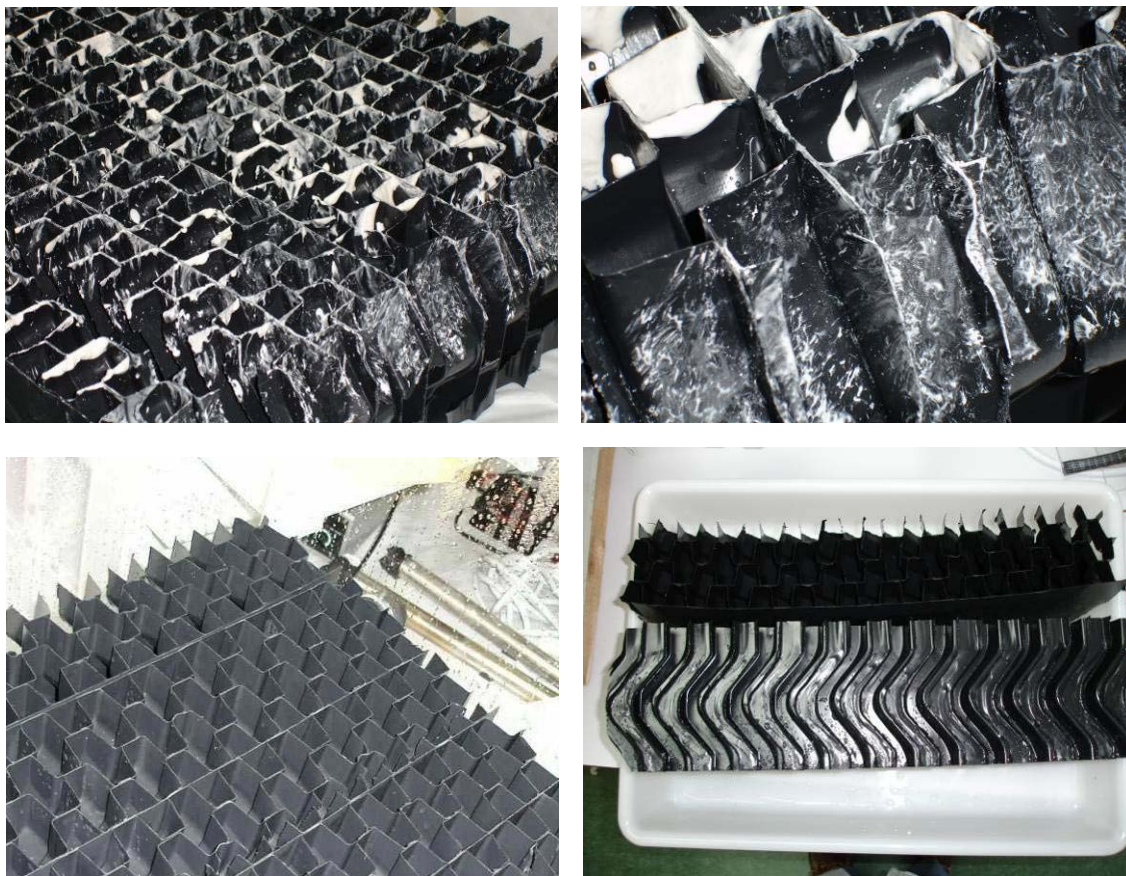


Foto 8.3. Imágenes del separador de gotas antes (arriba) y después (abajo) de limpiarlo con un programa de limpieza ácido.

8.3.1.2. Limpiabilidad de los tubos de intercambio térmico.

El paquete de intercambio térmico, compuesto normalmente por un conjunto de tubos fabricados en acero galvanizado, soporta la acción agresiva del agua (de mala calidad), de la atmósfera y el calor del gas refrigerante, convirtiéndose en la principal zona afectada por la corrosión y la formación de incrustaciones. Esta suciedad es fundamentalmente inorgánica y constituye un refugio para los microorganismos patógenos del agua como *Legionella pneumophila*. Su total limpieza de forma manual conlleva gran dificultad.

El ácido nítrico es un desincrustante común utilizado en multitud de ámbitos. La acción combinada de este ácido junto con la temperatura de aplicación consiguió una buena limpieza (ver Foto 8.4), en la superficie de los tubos después de la aplicación del programa de la Tabla 8.4.

Tabla 8.4. Programa de limpieza de los tubos de intercambio térmico, con ácido nítrico.

Etapas de trabajo	Líquido / T^a	Concentración %	Duración (minutos)
Prelavado	Agua / 20°C	-	10
Lavado ácido	Sol. de HNO ₃ / 45°C	1	10
Enjuagado	Agua / 20°C	-	10



Foto 8.4. Tubos con suciedad inorgánica seca antes de la limpieza (izquierda). Estado de limpieza de los tubos después de aplicar el programa de limpieza ácida (derecha).

Se ha realizado una segunda experiencia con un detergente comercial formulado a base de ácido nítrico concentrado (43%), y otros coadyuvantes que potencian la acción desincrustante y limpiadora, según el siguiente programa especificado en la Tabla 8.5.

Tabla 8.5. Programa de limpieza de los tubos de intercambio térmico, con detergente con ácido nítrico.

Etapas de trabajo	Líquido / T^a	Concentración %	Duración (minutos)
Prelavado	Agua / 20°C	-	10
Lavado ácido	Sol. de Betelene / 45°C	1	10
Enjuagado	Agua / 20°C	-	10

La limpieza de los tubos de acero inoxidable, que presentan un buen acabado de superficie, ha sido satisfactoria (ver Foto 8.5.).



Foto 8.5. Tubos antes (izquierda) y después (derecha) de efectuar la limpieza con detergente nítrico.

Por último se ha realizado la limpieza de la costra seca aplicada de talco con una solución al 1% de un detergente ácido con baja formación de espuma y formulado a base de ácido fosfórico concentrado (H_3PO_4 al 30%) y otros coadyuvantes. Este detergente también es usado en los circuitos CIP de las industrias alimentarias.

El programa de limpieza aplicado se especifica en la Tabla 8.6.

Tabla 8.6. Programa de limpieza de los tubos de intercambio térmico, con detergente con ácido fosfórico.

Etapas de trabajo	Líquido / T^a	Concentración %	Duración (minutos)
Prelavado	Agua / 20°C	-	10
Lavado ácido	Sol. de SH15 / 45°C	1	10
Enjuagado	Agua / 20°C	-	10

Con este último detergente, a pesar del efecto añadido de la espuma, no se observó mejora en el resultado de la limpieza. El resultado puede apreciarse en la Foto 8.6.



Foto 8.6. Tubos después de la limpieza con ácido fosfórico.

8.3.2. Estudio de la limpiabilidad en maqueta a escala de planta piloto.

El ensuciamiento de los condensadores evaporativos causado por la formación de incrustaciones calcáreas y biofilms, la corrosión de los materiales y la entrada de materias orgánicas e inorgánicas del aire exterior, se ha estudiado en mayor profundidad siguiendo la metodología utilizada por Szymura (2006). Como continuación a este estudio se ha realizado la comprobación de la limpieza y desinfección realizadas sobre un ensuciamiento de la maqueta en condiciones más cercanas a las reales de los equipos de enfriamiento evaporativo.

El seguimiento del contenido en cloruros y carbonatos del agua ha permitido elaborar la gráfica que se presenta en la Figura 8.8 dónde se muestra la relación de carbonatos y cloruros (ppm/ppm) en el transcurso del experimento. Este ratio, cuando toma valores inferiores a 1 indica que el ión calcio ha precipitado y no está en la disolución, presentándose entonces en forma cristalina como calcita o aragonita.

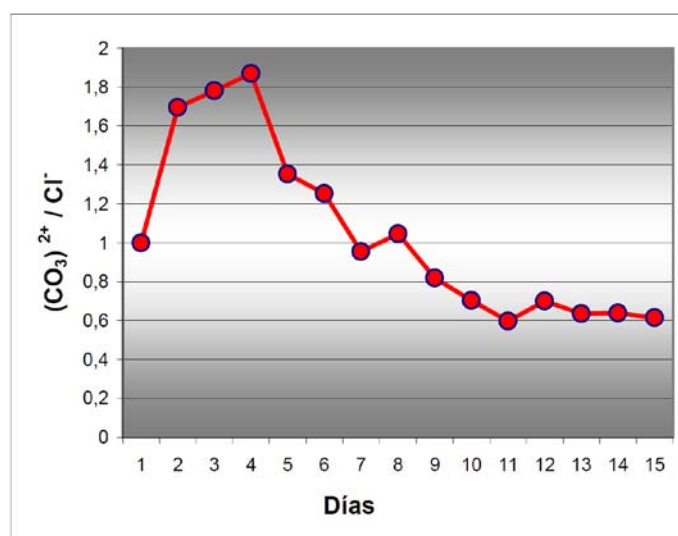


Figura 8.8. Relación $(\text{CO}_3)^{2+}/\text{Cl}^-$ en el agua a lo largo del estudio (ppm/ppm).

El carbonato cálcico cristalizado se va acumulando en las superficies del equipo formando incrustaciones. Además los óxidos de la corrosión, se muestran rápidamente aún tratándose del mejor material posible para un diseño higiénico. Ambos productos (ver Foto 8.7) deben ser eliminados a tiempo y de forma adecuada en los equipos, para evitar la formación de estructuras difíciles de limpiar que sirven de refugio a los microorganismos, la disminución de su rendimiento térmico (Bilal et al., 2005) y el deterioro prematuro.



Foto 8.7. Costra de cal y corrosión en la superficie de los tubos.

En el estudio se ha comprobado que las incrustaciones empiezan a aparecer en la superficie de los tubos de acero inoxidable cuando la conductividad eléctrica del agua está en torno a $2500\mu\text{S}/\text{cm}$. Este valor es bajo para los condensadores evaporativos en servicio que suelen tener rangos mayores de conductividad eléctrica en el agua de recirculación. Además, debido a la cloración, el agua presenta un valor de pH elevado y favorable para la precipitación de las sales. De ahí la importancia de un método adecuado para eliminarlas.

Los valores de pH y la conductividad eléctrica durante el estudio de ensuciamiento del agua se presentan en la Figura 8.9.

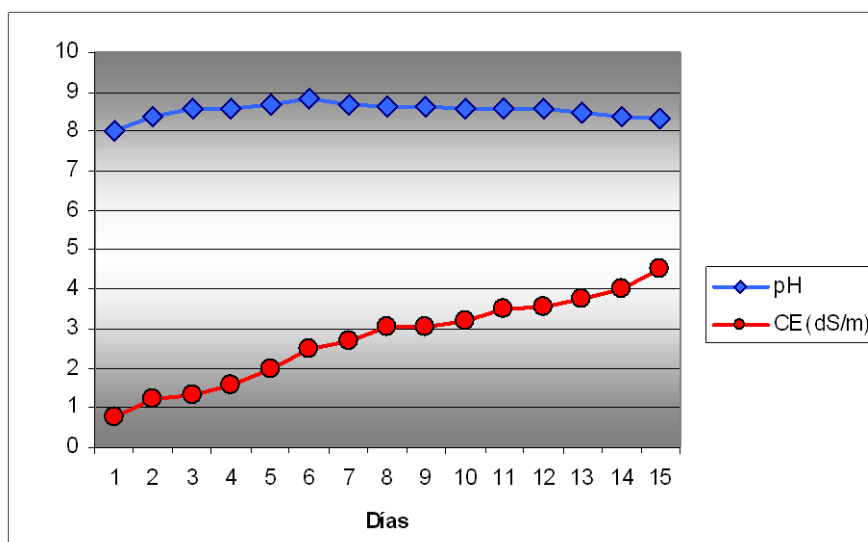


Figura 8.9. Evolución de la conductividad eléctrica del agua y del pH.

Los valores de pH aumentan en los días en que la dosis de cloro se aumentó para controlar el crecimiento de microorganismos. Los valores básicos de pH son poco

aconsejables para el agua de los condensadores ya que propician la formación de incrustaciones y disminuyen la eficacia del desinfectante.

La conductividad eléctrica aumentó sobrepasando el límite aconsejable por los fabricantes en tan solo 5 días. Conforme fue aumentando ésta aumentaron las incrustaciones en general. Foto 8.8.

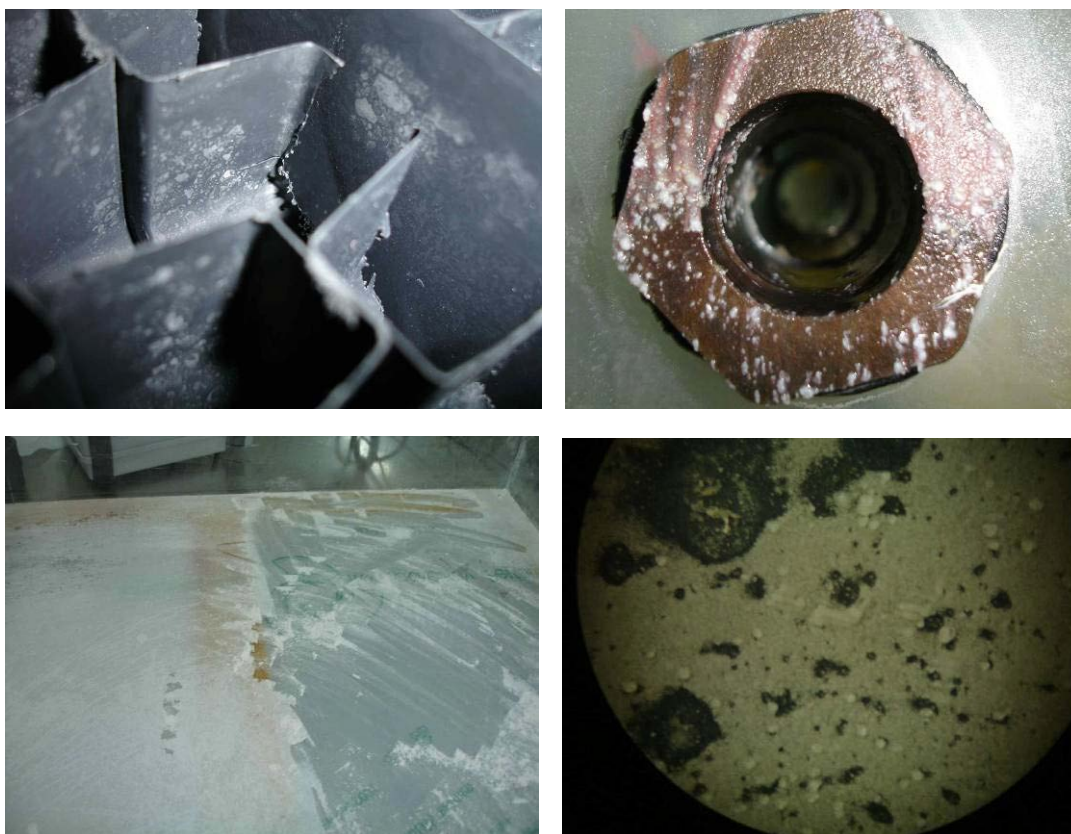


Foto 8.8. Incrustaciones a los 5 días de empezar el ensayo: separador de gotas (arriba izquierda), racor de conexión (arriba derecha), tubo de acero inoxidable a la lupa binocular (abajo a la izquierda) y depósitos de cal adheridos al suelo de la maqueta evaporativa.

Szymura (2006) explica como la formación de depósitos calcáreos disminuye la eficiencia energética de los intercambiadores de calor. Esta pérdida de rendimiento se puede cuantificar en función del espesor de la capa de incrustaciones que se forman en la pared del intercambiador.

La disposición de las boquillas de enfriamiento ha hecho posible observar la influencia de la velocidad de la corriente hidrodinámica que cubre los tubos. De este modo el tubo que recibía mayor caudal de agua y con mayor velocidad no mostró la misma cantidad de incrustaciones que el que recibía un menor rociado, Foto 8.9. Este

hecho se ha producido debido a la fuerza de arrastre de la corriente de agua que impedía en gran medida la deposición de la cal.

Después de los 15 días de funcionamiento, se midió el espesor medio de la capa de cal que recubría uno de los dos tubos de acero inoxidable. Presentando un valor medio de 0,5 mm. Esto correspondería con una pérdida de eficiencia energética del 20% (Macleod-Smith, 2002).



Foto 8.9. Detalle de la superficie de los tubos de la maqueta después de 15 días de ensuciamiento.

Además, la intensidad de flujo es un factor clave en la formación, mantenimiento y eliminación de capas de biofilm, ya que la fuerza hidrodinámica interfiere en el transporte de nutrientes y subproductos metabólicos, evitando, cuando la velocidad de flujo es suficiente, la formación de la capa de glicocalix, necesaria para la adhesión y protección de los microorganismos. En determinados estudios se comprueba que el nivel de biomasa es bajo para los mayores valores de flujo ($> 0,92$ m/s) debido a que el incremento en la velocidad del fluido aumenta el nivel de desprendimiento en la biopelícula (Characklis, 1980). En relación con esto, en el siguiente apartado, se presentan los valores del estudio microbiológico de superficies en ambos tubos.

Por último se comprobó la eficacia de un programa de lavado CIP, sobre las incrustaciones existentes después de 15 días de funcionamiento.

El programa aplicado fue de tipo ácido según se puede ver en la Tabla 8.7. Asimismo, los resultados se muestran en la Foto 8.10 dónde se aprecia el éxito de la limpieza. Por lo tanto la aplicación de un programa de limpieza adecuado para el tipo de suciedad a eliminar y aplicado con la debida frecuencia, antes de que haya demasiada suciedad, es la solución para tener un equipo con un buen estado higiénico.

Tabla 8.7. Programa de limpieza de los tubos con ácido nítrico.

Etapas de trabajo	Líquido / Tª	Concentración %	Duración (minutos)
Prelavado	Agua / 20°C	-	10
Lavado ácido	HNO ₃ / 20°C	1	10
Enjuagado	Agua / 20°C	-	10



Foto 8.10. Estado de los tubos y el racord después de la limpieza ácida.

8.3.3. Evaluación microbiológica en laboratorio.

Paralelamente al estudio de ensuciamiento y formación de incrustaciones se ha analizado el estado microbiano de la maqueta de laboratorio, por recuento de los microorganismos aerobios mesófilos totales.

Se trata de comparar en el laboratorio el grado de limpieza de las superficies, así como el estado sanitario del aire que expulsa la maqueta (aerosol) y del agua que se recircula dentro de ella, antes y después de desinfectar.

El grado de desinfección conseguido se basa en la eliminación de los microorganismos adheridos en las superficies internas, en la carga microbiana del aire que mueve el equipo y pasa a través de la corriente de agua, y en el recuento total de gérmenes en el agua de recirculación.

8.3.3.1. Estudio de la carga microbiana del agua de enfriamiento.

Durante el desarrollo del estudio la población microbiana del agua de enfriamiento ha ido variando según se muestra en la Figura 8.10.

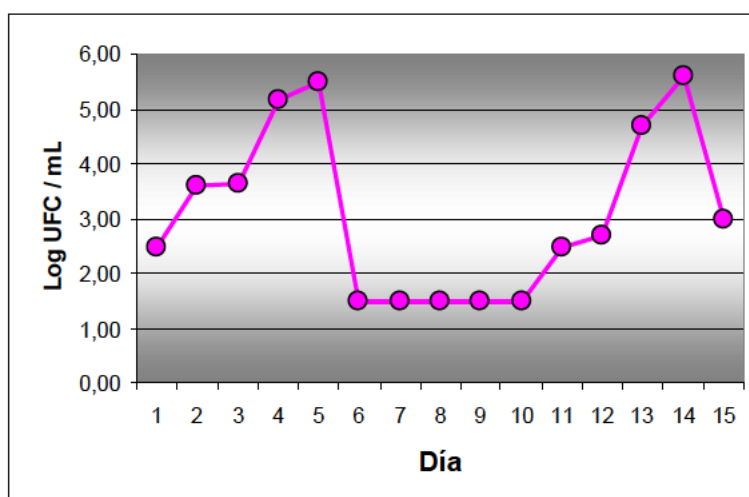


Figura 8.10. Evolución de la población de microorganismos aerobios totales durante el estudio.

Los primeros días del estudio el agua no estaba clorada de modo el equipo fue contaminándose hasta alcanzar valores por encima de 3×10^5 UFC/mL, en sólo 25 horas de funcionamiento. Esta flora mesófila presente en el agua, se ha podido controlar con la aplicación de hipoclorito sódico hasta obtener una concentración de 4 mg/L de cloro libre residual. No obstante, como la cloración no se realizaba en continuo, la carga contaminante del agua fue aumentando rápidamente desde el momento en el que se interrumpió la dosificación de cloro.

8.3.3.2. Estudio de la carga microbiana de las superficies.

Al mismo tiempo que se recirculaba el agua de refrigeración, se contaminaban las superficies internas de la maqueta de condensador evaporativo, lo que se comprobó con el análisis microbiano de las mismas antes y después de desinfectar el agua de recirculación.

En los condensadores evaporativos los microorganismos no pueden ser totalmente eliminados de las superficies de los equipos a pesar de las limpiezas realizadas, y esto se debe a que están aprisionados entre los restos de suciedad que no se eliminan ya que se adhieren fuertemente a la superficies antes incluso de que el ensuciamiento comience, formando biofilms.

Se han muestreado con placas RODAC de contacto la superficie de 2 zonas en la maqueta, tubos y pared, obteniéndose los resultados especificados en la Tabla 8.8.

Tabla 8.8. Resultados del muestreo de superficies.

	UFC/placa	Material
Equipo con agua sin clorar		
Pared	75	Metacrilato
Tubo sin cal	< 1	Acero AISI 316
Tubo con cal	50	Acero AISI 316
Equipo con agua clorada		
Pared	< 1	Metacrilato
Tubo sin cal	< 1	Acero AISI 316
Tubo con cal	50	Acero AISI 316

El método utilizado sirve para conocer si hay contaminación microbiana en la zona de muestreo y se trata de un método clásico y comúnmente aceptado para esta labor. Normalmente el método no recupera todos los microorganismos, pero si proporciona una valiosa información acerca del estado higiénico de una superficie. En concreto es el que se recomienda en la norma UNE 100012 de higienización de sistemas de climatización (AENOR, 2005). En esta norma se considera como inaceptable el recuento de flora microbiana aerobia mesófila total superior a 100 UFC/25cm² en sistemas HVAC. Salvo este valor apuntado, no existen otros en ninguna normativa en la que puedan compararse los valores, aunque si hay otros autores que proponen tablas de interpretación en diversos ámbitos de aplicación (Charpentier, 2002). Por ello, para el caso que nos ocupa, sólo nosotros mismos podremos valorar nuestras estadísticas y fijar nuestros parámetros. Como se ha dicho, se admite que estas y otras técnicas de control de desinfección de superficies sólo recuperan una parte de la flora presente en la superficie y este porcentaje varía en función del material constructivo de la misma. De modo que, cualquier comparación de resultados ha de tener en cuenta el procedimiento de muestreo utilizado ya que, existen diferencias importantes en la eficacia de captación de los distintos métodos.

En los resultados presentados, se observa como la cloración no es eficaz en las superficies del tubo de acero inoxidable con incrustaciones. Estas fueron provocadas en el tubo que recibía un flujo hidrodinámico inadecuado. Esto demuestra la importancia de una limpieza adecuada para eliminar los restos de incrustaciones en los equipos susceptibles de estar contaminados por *Legionella*. Aún así, el uso de materiales con diseño higiénico como lo es el acero inoxidable son una garantía a la hora de contar con unas superficies libres de gérmenes, ya que las placas de cultivo puestas en contacto con el tubo sin incrustaciones no presentaban crecimiento bacteriano aún cuando el agua no

estaba clorada, o lo estaba deficientemente. Además el tubo de acero inoxidable con incrustaciones dio lugar a un recuento de UFC/placa inferior al de las paredes de la maqueta evaporativa, lo que confirma su bondad como material para la construcción de equipos higiénicos. En las superficies donde no habían incrustaciones la cloración si fue satisfactoria.

8.3.3.3. Estudio de la carga microbiana del ambiente.

El aire atmosférico puede estar contaminado por moléculas gaseosas o con partículas sólidas o líquidas que pueden ser inertes, biológicas, o químicamente activas. Como se sabe, en el caso de los condensadores evaporativos, se aerosolizan partículas de agua que pueden contener la *Legionella* y generar una epidemia. Todos estos contaminantes son casi siempre invisibles al ojo humano y esto hace que haya una mala percepción del peligro que suponen y no se apliquen los medios de lucha adecuados.

El aire que sale de los condensadores evaporativos y torres de refrigeración es el responsable de la transmisión de la enfermedad en el 63 % de los casos que se da un brote de legionelosis (Guía técnica para la prevención y control de la legionelosis MISACO, 2003). Se entiende, por lo tanto, la importancia de tener un conocimiento de la situación del ambiente en este estudio.

Así, se ha muestreado el aire a la salida del separador de gotas en varios momentos del ensayo. Primero cuando el agua de la maqueta mostraba una contaminación baja de aerobios totales (500 UFC/mL), luego cuando la contaminación del agua era elevada (4×10^5 UFC/mL), y después de realizar la desinfección (1000 UFC/mL). También se tomaron muestras de exterior del edificio y del interior de la planta piloto antes de comenzar el ensayo. Los resultados se muestran en la Tabla 8.9.

Tabla 8.9 Resultados del muestreo de ambiente.

	Muestra	UFC/100 L
Día 0	Planta Piloto	10
	Exterior	30
Día 12	Planta Piloto	15
	Separador	19
Día 14	Planta Piloto	26
	Separador (agua sin clorar)	fuera de rango
Día 15	Planta Piloto	fuera de rango
	Separador (agua clorada)	7

Esta es una prueba de la emisión de aerosoles contaminados por microorganismos por parte de estos equipos frigoríficos y de su dispersión por el aire.

El aire que expulsaba la maqueta estaba más contaminado conforme más contaminada estaba el agua que recirculaba, mejorando esta situación cuando el agua se desinfectaba con hipoclorito sódico.

Estos resultado también pueden interpretarse con ayuda de la norma UNE 100012 (AENOR, 2005) que establece como valor máximo recomendable en el aire ambiente interior $800/\text{UFCm}^2$, valor que probablemente se superó en las placas de cultivo que no podían contarse cuando el agua estaba sin clorar y cuando el ambiente interior no estaba ventilado. Esta misma norma considera como valor orientativo recomendable en un equipo higienizado el de menos de 100 UFC/m^3 . Esto se consiguió en el ensayo después de clorar el agua (70 UFC/m^3).

Para valorar y clasificar la calidad del aire en espacios convencionales, es de suma utilidad el estudio de la población particular, expresado como número de partículas por unidad de volumen. El número, es un carácter a conocer, determinante de la nocividad de las partículas por su potencial biológico. Estos recuentos se hacen con medidores de partículas que ofrecen los resultados para un determinado rango de tamaño.

En el caso de los equipos evaporativos, los aerosoles son lanzados al exterior, con la corriente de aire que sale de ellos, y una vez cesa el impulso con que fueron emitidos, las gotas de agua más pequeñas son transportadas por el viento a mayor o

menor distancia, dependiendo de las condiciones meteorológicas existentes en ese momento y de la ubicación del equipo.

Las gotas (partículas) dispersadas en el aire con un tamaño inferior a 5 micrómetros por distintos equipos tanto en espacios abiertos como en recintos cerrados (torres de refrigeración, fuentes ornamentales, duchas, piscinas termale, baños de burbujas, humidificadores, etc.) pueden ser inhaladas profundamente por los pulmones y por ello son las más peligrosas de cara a la transmisión de enfermedades, ya que de estar contaminadas con un microorganismo patógeno, producirían una enfermedad (Fields, 1996). También hay que apuntar que las gotas mayores de 5 micrómetros pueden reducir su tamaño por evaporación durante su transporte. Por su parte, otras partículas no visibles como las bacterias, tienen un tamaño entre 1 y 15 micrómetros.

El estudio de las partículas del aire con el muestreador ha servido para elaborar la siguiente tabla (8.10) en la que se especifica su número por intervalos de tamaño en tres localizaciones diferentes.

Tabla 8.10. Número medio de partículas muestreadas, en el exterior del edificio, cerca del separador de gotas (SG) y en la planta piloto (PP) a unos 11 metros del SG.

	Exterior	PP	Salida SG	PP	Salida SG	PP
Tamaño (μm)	Día 0	Día 0	Día 12	Día 12	Día 14	Día 14
0,3	675.250	799.508	1.045.863	808.905	1.082.638	837.348
0,5	107.399	52.795	292.369	153.533	293.875	154.324
1	46.808	13.167	96.676	44.858	90.628	42.052
3	5.463	1.187	2.120	1.931	2.862	2.607
5	1.640	430	284	445	477	748
10	92	39	17	57	19	66

Cuando la maqueta estaba en funcionamiento aumentó el número de partículas en el ambiente interior de la planta piloto por el movimiento del aire que generaba el ventilador. Pero fue el rango entre 0,5-5 μm , el que experimentó un mayor incremento llegando a casi el 300% del número de partículas que había inicialmente en el ambiente interior. Además, el porcentaje del número de partículas de “riesgo” (0,5-5 μm) en la cercanías del separador de gotas llegó a ser de más del 500%. No se ha encontrado ninguna diferencia tan significativa entre el número de partículas de los distintos tamaños conforme se ensuciaba y contaminaba más la maqueta. Si bien si que aumentó el número de las mismas.

8.3.4. Test de limpiabilidad de un condensador evaporativo automático e higiénico.

En este apartado se valida la limpiabilidad de un condensador evaporativo que cuenta con un diseño higiénico y tiene conectado un sistema de limpieza automático in situ CIP (Foto 8.11).



Foto 8. 11. Prototipo de Condensador Evaporativo Automático e Higiénico (CEHA).

Este condensador ha sido construido según los criterios de diseño higiénico de las guías del EHEDG y más concretamente de acuerdo con los detalles establecidos en el capítulo 7 de esta tesis. El equipo que aquí se valida, cuenta con una patente internacional (López-Gómez et al., 2007) y ha sido fruto de un proyecto CDTI desarrollado por el grupo de Investigación de Ingeniería del Frío y la Seguridad Alimentaria de la Universidad Politécnica de Cartagena y la empresa de refrigeración industrial FRICOMZA S.L.

El sistema CIP se ha diseñado para la limpieza y desinfección automáticas sin necesidad de realizar el desmontado y posterior ensamblado del equipo.

La solución de lavado llega perfectamente a todas las superficies internas del equipo impulsada por una bomba, y procedente de un tanque de formulación, que recibe los productos concentrados, Figura 8.11 y Foto 8.12.

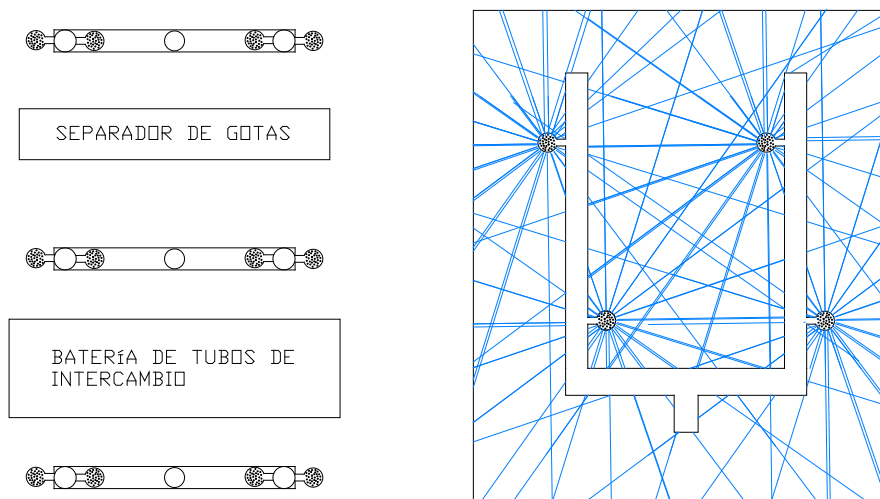


Figura 8.11. Esquema del montaje interior de boquillas de lavado. Sectores de limpieza - simulación del alcance y distribución del agua de limpieza y desinfección.



Foto 8.12. Tanque de formulación y productos concentrados a dosificar.

Dentro del equipo la solución se aplica a través de unas boquillas (spray balls) especialmente diseñadas para la limpieza CIP, Foto 8.13.



Foto 8.13 Detalle de las boquillas (spray balls) de limpieza del CIP del CEAH.

En primer lugar se analiza la limpieza de una suciedad modelo consistente en una pasta de talco húmedo a través de un programa de lavado CIP tal y como se describe en el apartado 3.4.4.

El programa de limpieza y desinfección propuesto, logró limpiar satisfactoriamente los restos de suciedad presentes anteriores a su aplicación.

El equipo contaba con tres sectores de limpieza que se hicieron funcionar independientemente. En el primer sector de limpieza, el sector superior, limpió la suciedad modelo en el espacio comprendido entre la parte superior del separador de gotas y el techo del equipo. En la Foto 8.14 puede verse como no quedan residuos visibles de la suciedad modelo.



Foto 8.14. Foto del separador de gotas antes (izquierda) y después (derecha) de la limpieza y desinfección.

En el segundo sector, el intermedio, la pasta de talco se eliminó de las superficies comprendidas entre la parte inferior del separador de gotas y la parte inferior del la batería de intercambio térmico. Ver Foto 8.15.



Foto 8.15. Vista lateral del estado de la superficie de la batería de intercambio térmico antes (izquierda) y después (derecha) de la limpieza y desinfección.

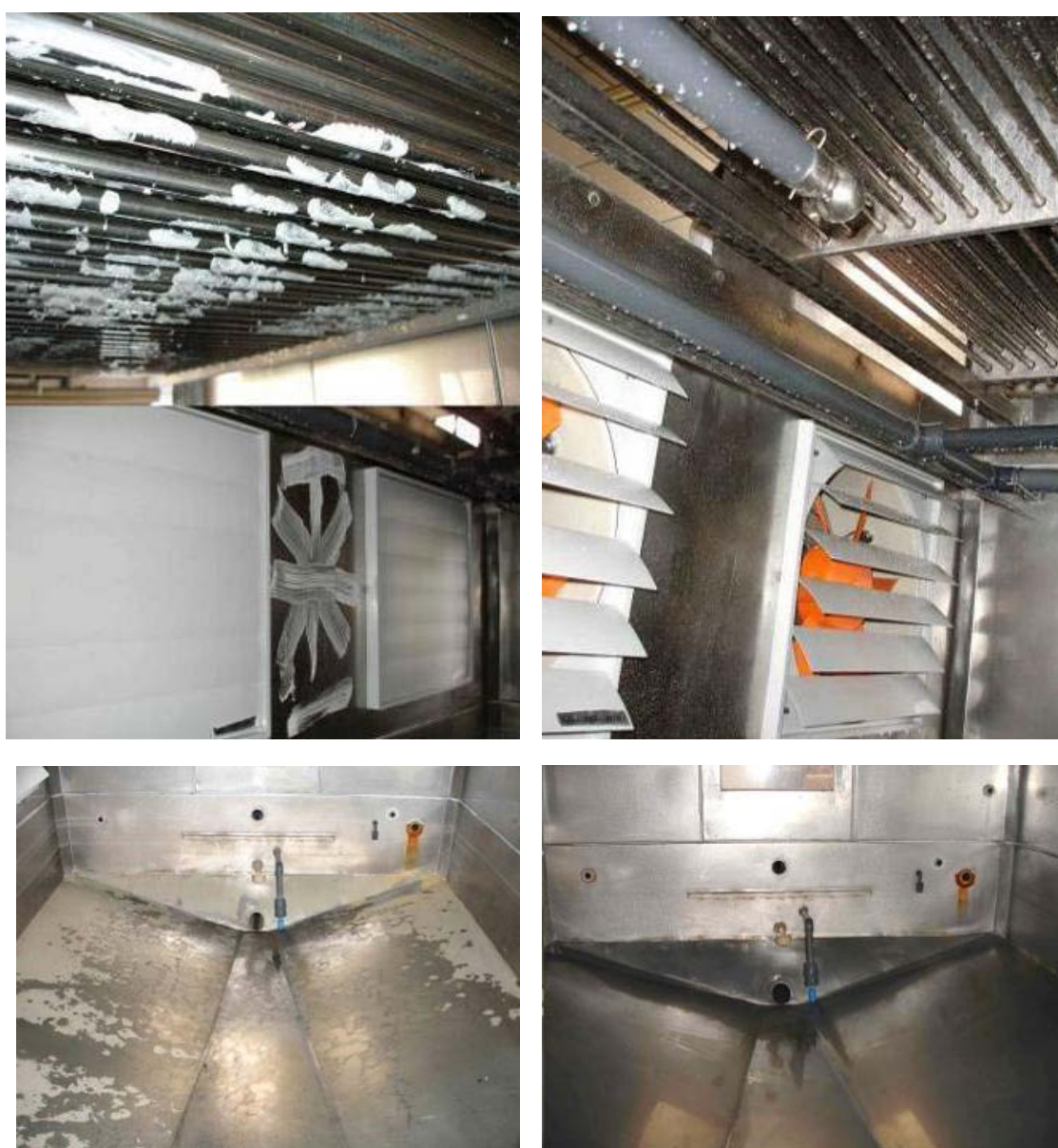


Foto 8.16. Aspecto de las superficies internas de la parte inferior del condensador evaporativo, antes (izquierda, arriba y abajo) y después (derecha, arriba y abajo) de la limpieza y desinfección.

Por último en el tercer sector, se eliminó el polvo y la tierra presente en el suelo de la bandeja de recogida de agua, y la suciedad modelo de sus paredes, así como de la parte inferior de la batería de tubos de intercambio térmico. Ver Foto 8.16.

8.3.4.1. Estudio de la carga microbiana del agua de enfriamiento.

Con este análisis, se determina la cantidad de indicador presente en el agua antes de aplicar el programa de limpieza y desinfección y después del mismo. Se trata de una comprobación típica para conocer el éxito de la limpieza y desinfección y descrita en el Real decreto que regula las medidas para la prevención de la legionelosis (RD 865/2003) y en la norma EN 12296 (AENOR, 1998).

Inicialmente el agua de la balsa presentaba un recuento de microorganismos aerobios por encima del máximo permitido por la ley. Aún así la aplicación del programa CIP, ha reducido los recuentos totales de microorganismos presentes en el agua hasta un valor casi nulo. Ver Tabla 8.11.

Tabla 8.11. Recuentos de aerobios mesófilos totales en el agua de recirculación antes (prelavado) y después (aclorado) de someter el equipo al programa de limpieza y desinfección.

UFC/mL	
Antes	Después
3×10^5	3×10^1

8.3.4.2. Estudio de la carga microbiana de las superficies.

Se han muestreado las superficies del interior del equipo antes y después de aplicar el programa de limpieza y desinfección, para conocer el efecto de éste sobre la población microbiana que lo contamina. Se han tomado un total de 14 muestras de 7 zonas distintas del interior del prototipo de modo que constituyan una muestra representativa de las superficies.

En la Tabla 8.12, se muestran los resultados de los recuentos de aerobios mesófilos totales que se han obtenido en las placas RODAC antes de aplicar el sistema de limpieza y desinfección, con las superficies contaminadas, y después de la aplicación del mismo.

Tabla 8.12. Resultados del muestreo de superficies.

Nº muestra	Zona	Material	Antes UFC/placa	Después UFC/placa
1	Balsa 1	AISI 304	10	5
2	Balsa 2	AISI 304	39	4
3	Pared 1	AISI 304	29	6
4	Batería	AISI 316	130	1
5	Soporte	AISI 304	10	< 1
6	Separador	PVC	8	1
7	Pared 2	AISI 304	1	< 1

La contaminación inicial del equipo, en general, no es muy alta. Así, a pesar de haber estado en contacto con un agua de contaminación elevada (3×10^5 UFC/mL), las superficies no se han contaminado en demasía. Esto probablemente se debe al buen diseño higiénico con el que cuenta el prototipo, en el que se utilizan materiales y acabados de superficie adecuados para dificultar su ensuciamiento y contaminación y facilitar el buen estado sanitario del mismo, de modo que los microorganismos no han podido asentarse en las superficies o en la suciedad presente en las mismas.

Las superficies de acero inoxidable han mostrado la mejor aptitud de cara a la limpieza y desinfección. En este caso han disminuido notablemente los recuentos, por encima del PVC, después de la aplicación del programa CIP. En concreto el acero inoxidable de calidad AISI 316 fue en el que se consiguió una mayor reducción del número de microorganismos contaminantes. Este material, contaba con al mejor acabado (pulido) superficial.

En la Figura 8.12, se relaciona de una manera visual, la contaminación de las superficies internas con su localización dentro del equipo.

En esta prueba, la zona más contaminada fue la intermedia del condensador, se trata de la zona por donde fundamentalmente el agua escurre, es decir, por donde circula a menor velocidad. La muestra 7 fue tomada en la pared que se localiza en la parte superior del equipo por encima del separador de gotas, así que no estaba casi contaminada porque no tenía contacto directo con el agua de recirculación. El separador de gotas, tampoco tiene una contaminación elevada, si bien es cierto que éste componentes se ve afectado más por salpicaduras que por un flujo directo del agua de recirculación. En conjunto, los recuentos se redujeron en más de un 92% después de aplicar el sistema CIP de limpieza y desinfección.

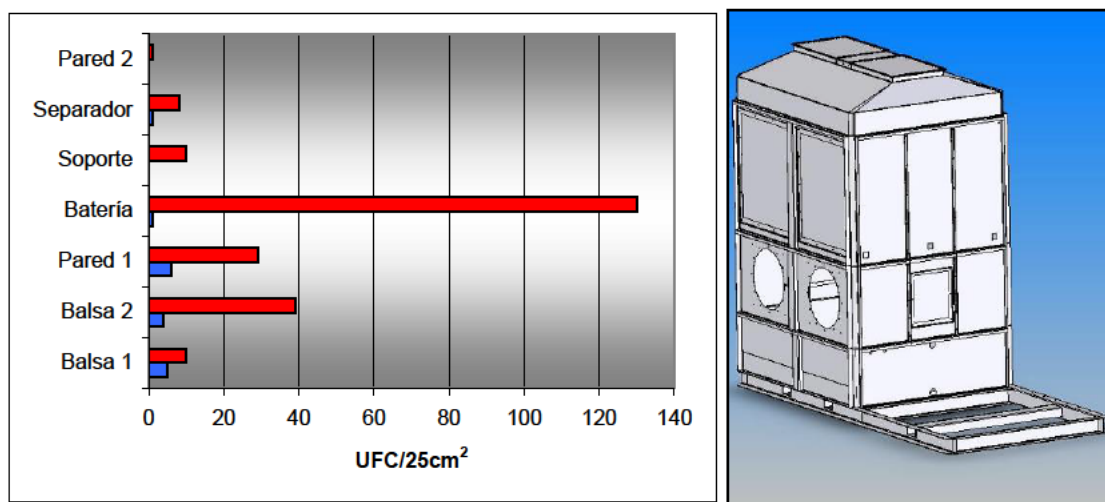


Figura 8.12. Contaminación de AMT en las superficies internas antes (rojo) y después (azul) de aplicar la limpieza y desinfección CIP.

En la Figura 8.13, se muestra de una manera más clara el éxito del nuevo procedimiento de limpieza y desinfección diseñado para este tipo de equipos. Así el 100% de las superficies muestreadas presentaban un estado higiénico muy satisfactorio. Todas las muestras tomadas de las superficies internas, cumplen con el estándar microbiológico de superficies después de la desinfección, ya que la flora aerobia mesófila total superviviente, es inferior a 10 UFC/placa, y por lo tanto el equipo se considera desinfectado (AENOR, 2005). Este éxito es posible gracias al buen diseño higiénico del equipo. Por ello, este nuevo condensador evaporativo puede ayudar a solucionar el gran problema de la transmisión de la legionelosis.

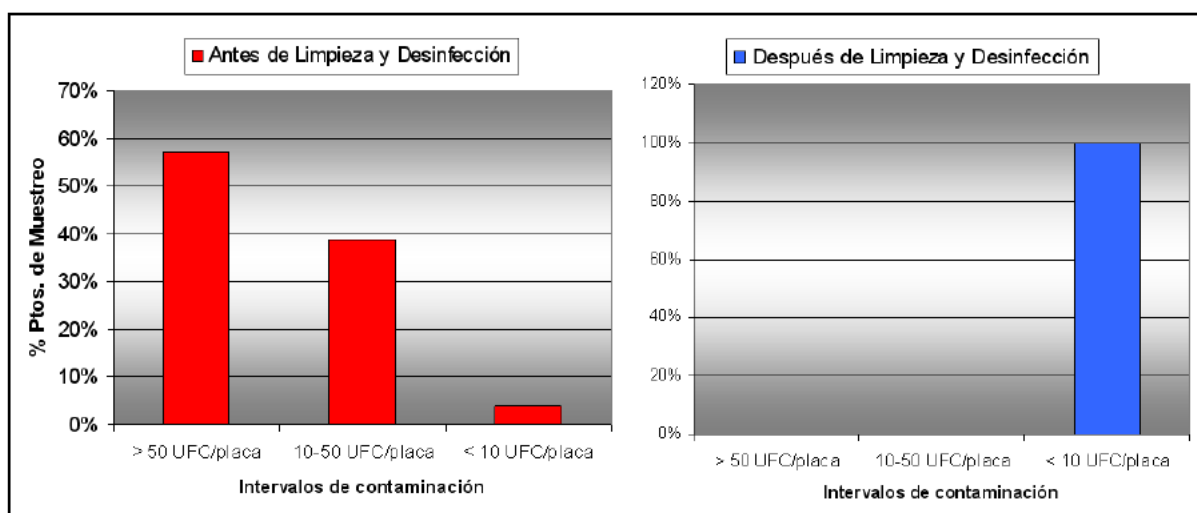


Figura 8.13. Histograma de frecuencias de los intervalos de contaminación microbiana, en los puntos de muestreo, antes y después de desinfectar con el sistema CIP.

8.3.4.3. Estudio de la carga microbiana del ambiente.

Se ha estudiado la contaminación microbiana del aire antes y después de limpiar y desinfectar el equipo. El aire muestreado se obtuvo a la salida del separador de gotas cuando el condensador evaporativo funcionaba en condiciones normales de recirculación de agua. Los resultados pueden verse en la Tabla 8.13.

Tabla 8.13. Resultados del recuento de microorganismos aerobios mesófilos totales en el ambiente.

Muestra	UFC/100 L
Interior antes	21
Separador antes	17
Interior después	28
Después	9

El aire a la salida del separador de gotas antes de limpiar y desinfectar, estaba menos contaminado que el aire interior de la nave que tomaba el equipo para realizar el enfriamiento evaporativo. Después de la limpieza y desinfección se redujo la carga contaminante del aire a la salida del separador en un 47%. Así un equipo convenientemente higienizado, no contribuye a aumentar la contaminación aerotransportada.

Por último se ha caracterizado la composición particular del ambiente, para ver el efecto de la limpieza y desinfección sobre el mismo. Así se presenta en la Tabla 8.14 los recuentos de partículas por tamaño, de la nave, antes de poner en marcha el equipo y a la salida del separador de gotas, antes de desinfectar el condensador evaporativo y después de hacerlo.

Tabla 8.14. Número medio de partículas por tamaños, presente en el ambiente durante la realización del test de limpiabilidad.

Tamaño (µm)	Nave	Antes	Después
0,3	1.211.561	1.244.677	1.081.801
0,5	166.181	312.446	218.909
1	59.456	101.411	64.771
3	6.535	6.784	4.486
5	2.019	1681	1091
10	120	52	39

Estos recuentos son en general mucho mayores que los obtenidos en la medición realizada en planta piloto e incluso que los realizados en el exterior de la misma. Esto es algo perfectamente posible ya que las pruebas se han realizado en el interior de una nave taller de construcción y reparación de maquinaria de refrigeración industrial, donde debido a los trabajos mecánicos que se realizan, suele haber una gran cantidad de materia particulada en suspensión.

En la Tabla 8.14 se observa que para el caso de las partículas de un tamaño inferior a 5 micrómetros pero mayores o iguales de 0,5, éstas, aumentan en un 89%. Esto ocurre al poner en marcha el equipo contaminado y comparándolas con las que hay en el ambiente con el equipo sin funcionar. No obstante, se pone de manifiesto el éxito del sistema de limpieza y desinfección automático sin desmontar, ya que los recuentos totales, disminuyen después de la aplicación del programa de limpieza, especialmente en el rango de tamaño de partículas con riesgo para el contagio de *Legionella*. Esta disminución después de limpiar y desinfectar, es de casi un 30% para el rango de tamaño de 0,5-5 micrómetros.

8.4. CONCLUSIONES.

Los condensadores evaporativos con diseño higiénico tienen una elevada eficiencia energética, mejorada por la menor tendencia a la formación de incrustaciones y mayor facilidad para eliminar el ensuciamiento. De este modo, un condensador evaporativo higiénico y automático constituye una de las alternativas más eficientes en el campo de la refrigeración industrial. Destacando en lo que respecta, al ahorro energético y al respeto medioambiental.

Los tres productos desincrustantes probados limpiaron las superficies de los componentes evaluados con buen resultado. Además son químicamente compatibles con los materiales descritos en el capítulo anterior para la construcción de un equipo con diseño higiénico. Por lo tanto, el ácido nítrico o el fosfórico o un detergente formulado a base de éstos, es idóneo para su uso en un sistema CIP de un condensador evaporativo automático e higiénico.

Para resolver el problema de las incrustaciones es necesario aplicar frecuentemente un método de limpieza que las elimine antes de que la cal y la corrosión hayan dañado demasiado al equipo y sean difíciles de eliminar.

Se pone de manifiesto que, en estos equipos de alto riesgo de contaminación y dispersión de *Legionella*, los sistemas de limpieza y desinfección CIP adecuadamente diseñados y manejados, disminuyen los niveles de contaminación microbiana hasta valores inofensivos. Esto se logró también gracias al diseño higiénico del equipo, destacando como factores importantes del mismo, la geometría de las superficies, su rugosidad, y el material de origen. Así como el efecto hidrodinámico sobre la suciedad y los biofilms.

PARTE IV

CONCLUSIONES GENERALES Y BIBLIOGRAFÍA

CAPÍTULO 9

Conclusiones

CONCLUSIONES.

1.- **Los condensadores evaporativos actuales no presentan un diseño higiénico.** Los métodos de limpieza y desinfección utilizados en los condensadores son manuales y resultan ineficaces debido, en gran medida, a la falta de diseño higiénico. En general, no son capaces de eliminar el gran ensuciamiento por fangos, lodos, incrustaciones, biofilms y otras materias extrañas que acaban por propiciar un adecuado nicho ecológico para *Legionella*. El agua no cumple con los requisitos establecidos en la legislación vigente, habiéndose detectado incluso la presencia de *Legionella* en algunas instalaciones. Se ha detectado la presencia de protozoos y algas en todas las instalaciones muestreadas. Los recuentos de aerobios mesófilos han superado 10^4 UFC/ml en dos terceras partes de los análisis realizados. Nos obstante, no se ha encontrado una correlación entre la presencia de *Legionella* y el número de aerobios mesófilos.

Los principales problemas de diseño higiénico son: el uso de materiales de construcción inadecuados, una disposición incorrecta de las superficies internas de los equipos que propicia la acumulación de suciedad, la inexistencia de un adecuado sistema de drenaje de la balsa inferior, y la excesiva rugosidad en la pared externa de los tubos galvanizados del condensador evaporativo. Todo esto impide mantener unos mínimos niveles de limpieza y desinfección que eviten la proliferación microbiana en el agua usada por el condensador.

2.- **Los sistemas de limpieza in situ (CIP) pueden aplicarse a los condensadores evaporativos para mantenerlos con un adecuado estado de higiene.** Se trata de un sistema adaptado a las limpiezas frecuentes, que pueden ser ejecutadas durante pausas del funcionamiento, lo que lo hace excelente para eliminar la contaminación microbiana. La frecuencia de aplicación de los programas de limpieza y desinfección de los sistemas CIP deben ser ajustados de acuerdo con la experiencia en condiciones de operación habituales. Aunque se debe de tener en cuenta que la suciedad a eliminar está compuesta por incrustaciones calcáreas, productos de la corrosión, sedimentos inorgánicos, lodos, algas y otra materia orgánica y microorganismos que forman biofilms; y estos biofilms actúan como refugio y reservorio de microorganismos que no se eliminan con los sistemas actuales de limpieza y desinfección.

Estos sistemas de limpieza CIP se han adaptado al prototipo desarrollado de condensador evaporativo con diseño higiénico, y se ha validado su eficacia, consiguiendo un adecuado control de la contaminación del agua, de las superficies internas del equipo, y del aire que circula a través del mismo.

3.- Se ha puesto de manifiesto que es recomendable la utilización de materiales que resistan la corrosión y tengan una adecuada facilidad de limpieza y posterior desinfección, minimizando el asentamiento de microorganismos y el ensuciamiento, y facilitando un buen mojado. En este sentido el PVC y el acero inoxidable muestran un comportamiento muy adecuado. Los condensadores evaporativos estudiados estaban fabricados con materiales muy sensibles a las agresivas condiciones de funcionamiento que sufren estos equipos. Presentando un deterioro y envejecimiento acusado en la mayoría de los casos. Los materiales utilizados en los condensadores evaporativos actuales no cumplen con los criterios de diseño higiénico. Se trata de materiales fácilmente ensuciables y difíciles de limpiar en comparación con los que se recomiendan para conseguir una higiene adecuada en equipos de proceso. Se deben buscar materiales poco afines a la adhesión de biofilms, siendo el PVC y el acero inoxidable los que muestran el comportamiento más adecuado.

4.- Se ha estudiado, diseñado y validado, un nuevo condensador evaporativo higiénico y de limpieza automática, que incorpora las siguientes innovaciones:

- (i) Tiene un diseño, adaptado según los principios de diseño higiénico de los equipos de procesamiento de alimentos, que garantiza una adecuada limpieza, porque todas las zonas internas del condensador son accesibles para el sistema de limpieza automático.
- (ii) Lleva acoplado un sistema automático de limpieza y desinfección, que funciona sin desmontar ninguna parte del equipo, que garantiza una correcta limpieza y desinfección y un total control de la contaminación por *Legionella*.
- (iii) Posee un intercambiador de calor donde se realiza la condensación, de tipo higiénico e innovador, que favorece la limpieza y desinfección y, al mismo tiempo, una gran eficacia térmica.

Esta nueva propuesta de condensador evaporativo higiénico y automático constituye una verdadera mejora en el campo de la refrigeración industrial, destacando sobre todo, el ahorro energético que permite conseguir, respecto de los condensadores por aire. En este sentido, es de destacar que estos condensadores evaporativos con diseño higiénico consiguen una mayor eficiencia energética debido a la menor tendencia a la formación de incrustaciones, por su mayor facilidad para eliminar el ensuciamiento.

CAPÍTULO 10

Bibliografía

BIBLIOGRAFÍA.

- AENOR *Calidad del agua. Enumeración de microorganismos cultivables. Recuento de colonias por siembra en medio de cultivo de agar nutritivo*. UNE-EN ISO 6222:1999. Madrid: AENOR, 1999.
- AENOR *Higienización de sistemas de climatización*. UNE100012:2005. Madrid: AENOR, 2005.
- AENOR *Recomendaciones sobre los procedimientos de ensayo para la determinación de la capacidad a la limpieza*. UNE-EN 12296:1998. Madrid: AENOR, 1998.
- Aguilera-Olmos C *Máquinas y equipos frigoríficos*. Consellería de Cultura, Educación y Deporte : Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación de Valencia. Valencia: 2006. 650 p.
- Ahearn DG, Crow SA, Simmons RB, Price DL, Mishra SK, Pierson DL (1997) Fungal colonization of air filters and insulation in a multi-story office building: production of volatile organics. *Curr Microbiol* 35, 305-308.
- Alexandrova A (2010) *Extract and cleaning of contaminated air in commercial kitchens*. Bachelor Thesis. Mikkeli University of applied Sciences. Finland.
- Anil OB (2008) *A research on design of heating, ventilation and air conditioning of hygienic spaces in hospitals*. M.S.Thesis. İzmir Institute of Technology. Turkey.
- Anónimo (1995) Atypical pneumonia agents are joining the mainstream. *Am Soc Microbiol News*. 61, 621.
- ASHRAE (1999) *Water treatment*, Chapter 47. En: Applications Handbook, Atlanta.
- ASHRAE (2005) Using variable speed drives for evaporative condensers. *ASHRAE J* 47(8).
- ASPEC (2004) *Maintien en propreté des réseaux aérauliques pour salles propres et environnements maîtrisés apparentés*. 51-52.
- Asther M, Bellon-Fontaine M, Capdevila C, Corrieu, G (1990) A thermodynamic model to predict *Phanerochaete chrysosporium* INA-12 adhesion to various solid carriers in relation to lignin peroxidase production. *Biotechnol Bioeng* 35(5), 477-482.
- Baltimore Aircoil International N.V. (2005) *Product and Application Handbook*. Australia.

- Ben Othmane M, Havet M, Gehin E, Sollicec C, Arroyo G (2011) Predicting cleaning time of ventilation duct systems in the food industry. *J Food Eng* 105, 400-407.
- Bénézech T, Lalande M (2002) Sistemas de limpieza CIP. En: Leveau, J.Y. Bouix, M. *Manual técnico de higiene, limpieza y desinfección*. Primera edición. Madrid: AMV Ediciones, Mundiprensa. p. 396-420.
- Bentham RH (2000) Routine sampling and the control of *Legionella* spp. in cooling tower water systems. *Curr Microbiol* 41, 271-275.
- Betta G (2009) *Food hygiene in aseptic processing and packaging systems*. PhD Thesis. Università degli studi di Parma. Italy.
- Bluyssen PM, Cox C, Seppänen O, De Oliveira-Fernandes E, Clausen G, Müller B, Roulet CA (2003) Why, when and how do hvac-systems pollute the indoor environment and what to do about it? the european AIRLESS project. *Build Environ* 38, 209-225.
- Bolashikov ZD, Melikov AK, (2007) Methods for indoor air disinfection and purification from airborne pathogens for application in HVAC systems. *The sixth international conference on indoor air quality, ventilation & energy conservation in buildings 2*, 565-573
- Brooks T, Osicki RA, Springthorpe VS, Saltar SA, Filion L, Abrial D, Riffard S (2004) Detection and identification of *Legionella* species from groundwaters. *J Toxic Environ Health A* 67, 1845-1859.
- Buncic S, Sofos J (2012) Interventions to control *Salmonella* contamination during poultry, cattle and pig slaughter. *Food Res Int* 45, 641-655.
- Burfoot D (1999) *The importance of air flows in design*, En: European Commission 'Meat Automation' Concerted Action, FAIR-CT-97-1998, Khodabandehloo, K. (ed.), pp. 8-16, Technical Report on Consumer Protection, Labour Safety & Hygiene.
- Burfoot D (2000) Localised air delivery systems, *Food Process* 6, 25-26.
- Burfoot D, Brown K, XU Y, Reavell SV, Hall K (2000) Localised air delivery systems in food industry. *Trends Food Sci Technol* 11, 410-418.
- Burfoot D, Whyte RT, Tinker DB, Hall K, Allen VM (2007) A novel method for assessing the role of air in the microbiological contamination of poultry carcasses. *Int J Food Microbiol* 115, 48-52.

- Burge HA (1990) Bioaerosols: prevalence and health effects in the indoor environment. *J Allergy Clin Immun* 86, 687-701.
- Byrne B, Lyng J, Dunne G, Bolton DJ (2008) An assessment of the microbial quality of the air within a pork processing plant. *Food Control* 19, 915-920.
- Carducci A, Verani M, Battistini R (2010) *Legionella* in industrial cooling towers: monitoring and control strategies. *Lett Appl Microbiol* 50, 24-29.
- Carrasco E, Morales-Rueda A, García-Gimeno R M (2012) Cross-contamination and recontamination by *Salmonella* in foods: A review. *Food Res Int* 45, 545-556.
- Castaño A, Hernández E, López A, Palop A (2007) Necesidad del diseño higiénico en torres de enfriamiento y condensadores evaporativos. *Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío*, Oporto. Portugal.
- Castaño A, Hernández ME, López-Gómez A, Palop A (2007) Presence of *Legionella pneumophila* in evaporative condensers and its relation with the characteristics of the water. *XXII International Congress of Refrigeration*, IIR Conference. Actas del Congreso. Beijing. China.
- Characklis WC (1990) Microbial fouling and microbial biofouling control. En: W.G. Characklis and K.C. Marshall. (Eds.): *Biofilms*, John Wiley, New York; 523-584.
- Charpentier J (2002) Inspección de la limpieza y la desinfección. En: Leveau, J.Y. Bouix, M. *Manual técnico de higiene, limpieza y desinfección*. Primera edición. Madrid: AMV Ediciones, Mundiprensa. p. 429-439.
- Chiang HM, Chiu HH, Lai YM, Chen CY, Chiang HL (2010) Carbonyl species characteristics during the evaporation of essential oils. *Atmos Environ* 44, 2240-2247.
- Chmielewski R, Frank JF (2003) Biofilm formation and control in food processing facilities. *Compr Rev Food Sci* 2(1), 22-32.
- Clodic D, Zoughaib A, Merchat M, Fassi L (2005) Method and system for supplying water to cooling towers. *WO2005124253 (A1)*.
- Colbourne JS (1988) *Legionella*: a biofilm organism in engineered water systems? *Biodeterioration* 7, 36-42.
- Consejería de Sanidad (2007) *Memoria 2007*. Región de Murcia. Disponible en Web: www.carm.es

- Croft WA, Jarvis BB, Yatawara CS (1986) Airborne outbreak of trichothecene toxicosis. *Atmos Environ* 20, 549–552.
- Den Aantrekkera ED, Beumera RR, Van Gerwenb SJC, Zwieteringc MH, Van Schothorsta M, Boom RM (2003) Estimating the probability of recontamination via the air using Monte Carlo simulations. *Int J Food Microbiol* 87, 1-15.
- Devos L, Boon N, Verstraete W (2005) *Legionella pneumophila* in the environment: occurrence of a fastidious bacterium in oligotrophic conditions. *Rev Environ Sci Biotechnol* 4, 61-74.
- Edelstein PH, Meyer RD (1994) *Legionella* pneumonias. En: Pennigton JE (ed) *Respiratory infections: Diagnosis and management*, 3rd ed., pp. 455-484. Raven Press, New York.
- EHEDG (1993) *Hygienic design of closed equipment for the processing of liquid food*, Chipping Campden: CCFRA Technology Ltd. Doc 10.
- EHEDG (2000) *A method for the assessment of in-place cleanability of food processing equipment*, Chipping Campden: CCFRA Technology Ltd. Doc 23, 14p.
- EHEDG (2002) *The prevention and control of Legionella spp (incl Legionnaire's Disease) in Food Factories*, Chipping Campden: CCFRA Technology Ltd. Doc. 24, 24p.
- EHEDG (2004a) *A method for assessing the in-place cleanability of food processing equipment*, 3rd edn. Chipping Campden: CCFRA Technology Ltd. Doc. 2, 14p.
- EHEDG (2004b) *Hygienic equipment design criteria, 2nd edition*. Chipping Campden: CCFRA Technology Ltd. Doc 8, 14p.
- EHEDG (2005) *Materials of construction for equipment in contact with food*, Chipping Campden: CCFRA Technology Ltd. Doc 32, 57p.
- EHEDG (2006) Guidelines on air handling in the food industry. *Trends Food Sci Tech* 17, 331-336.
- EHEDG (2007) Integration of hygienic and aseptic systems. *Trends Food Sci Tech* 18, 48-58.
- ERG (2004) *Good manufacturing practices (gmps) for the 21st century*. Food processing. Erickson Research Group, FDA Study, USA.
- España (2003) *Real Decreto 865/2003, de 4 de julio, por el que se establecen los criterios higiénico-sanitarios para la prevención y control de la legionelosis*. BOE 18 julio 2003, núm. 171. pp 28055-28069.

- Eurovent – Cecomaf Working Group Cooling Towers (2002) *Recommended code of practice to keep your cooling system efficient and safe*, 2^a Ed. EUROVENT, 36p. Disponible en Web: www.eurovent-association.eu
- Evapco Inc. (2000) *Cooling towers, closed circuit coolers evaporative condensers*. Maintenance Instructions. USA.
- Falini R, Moia E (1993) Clean rooms - the future. *Latte* 18(6), 682-685.
- Federal Standard (1992) *Airborne particulate cleanliness classes in clean rooms and clean zones*. FED-STD-209E.
- Fields BS (1996) The molecular ecology of legionellae. *Trends Microbiol.* 4, 286-290.
- Firmesse O, Chassaing D, Leconte AM, Carpentier B (2012) *Comparison of materials used in food refrigeration equipment with respect to ease of removal of organic soil*. En: EHEDG Yearbook 2011/2012. pp 21-25.
- Fliermanns CB, Chery WB, Orrison LH, Smith SJ, Tison DL, Pope DH (1981) Ecological distribution of *Legionella pneumophila*. *Appl Environ Microbiol* 41, 9-16.
- Frank J, Koffi R. (1990) Surface-adherence growth of *Listeria monocytogenes* is associated with increased resistance to surfactant sanitizers and heat. *J Food Prot* 53(7), 550-4.
- Fraser DW, Tsai TR, Orenstein W, Parkin WE, Beecham HJ, Sharrar RG, Harris J, Mallison GF, Martin SM, McDade JE, Shepard CC, Brachman PS (1977) Legionnaires' disease. Description of an epidemic of pneumonia. *New Engl J Med* 297, 1189-1197.
- Fredsted LB, Rysstad G, Eie T (1996) Pure-Lac: the new milk with protected freshness and extended shelf life. *Heat Treatment and Alternative Methods Symposium*, 9602, 104–125.
- Fryer PJ, Asteriadou K (2009) A prototype cleaning map: A classification of industrial cleaning processes. *Trends Food Sci Tech* 20, 255-262.
- Fujii J, Yoshida S (1998) *Legionella* infection and control in occupational and environmental health. *Rev Environ Health* 13, 179-203.
- Fux C.A., Costerton J.W., Stewart P.S., Stoodley P. (2005) Survival strategies of infectious biofilms. *Trends Microbiol* 13 (1) 37-40.

- Goñi P, López P, Sánchez C, Gómez-Lus R, Becerril R, Nerín C (2009) Antimicrobial activity in the vapour phase of a combination of cinnamon and clove essential oils. *Food Chem* 116, 982-989.
- Green PN (1993) Efficacy of biocides on laboratory-generated *Legionella* biofilms. *Lett Appl Microbiol* 17, 158-161.
- Hanssen SO (2004) HVAC - the importance of clean intake section and dry air filter in cold climate. *Indoor Air* 14(7), 195-201.
- Hood S, Zottola E (1997) Adherence to stainless steel by foodborne microorganisms during growth in model food systems. *Int J Microbiol* 37, 145-53.
- Hosoz M, Kilicarslan A (2004) Performance evaluations of refrigeration systems with air-cooled, water-cooled and evaporative condensers *Int J Energ Res* 28, 683-696.
- Hyttinen M, Pasanen P, Bjorkroth M, Kalliokoski P (2007) Odors and volatile organic compounds released from ventilation filters, *Atmos Environ* 41, 4029-4039.
- IDAE (2007) *Comentarios al Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE-2007)*. IDAE, Madrid. Disponible en Web: www.idae.es
- International Institute of Refrigeration. (2006) *Evaporative cooling and Legionella. A risk which can be prevented by using good practices*. 18th informatory note on refrigeration technologies. Paris: IIR.
- ISO *Water quality - Detection and enumeration of Legionella - Part 2: Direct membrane filtration method for waters with low bacterial counts*. ISO 11731-2:2004(E). First edition. Switzerland: ISO, 2004.
- ISO *Water quality - Detection and enumeration of Legionella*. ISO 11731:1998(E). First edition. Switzerland: ISO, 1998.
- ISOVER (2009) *Manual de Conductos de aire acondicionado*. Saint-Gobain Cristalería S.A. Disponible en Web: www.isover.net
- James BW, Mauchline WS, Fitzgeorge RB, Dennis PJ, Keevil CW (1995) Influence of iron-limited continuous culture on physiology and virulence of *Legionella pneumophila*. *Infect Immun* 63, 4224-4230.
- Keener KM, Williams GD (2008) Operational Practices in Food Processing Plants. *ASABE Annual International Meeting*, Providence, USA.
- Kienboeck M, Podhorsky M (2004) Packing element for cooling towers. Patent *EP1452821 (A1)*.

- Knudson GB (1986) Photoreactivation of ultraviolet-irradiated, plasmid-bearing, and plasmid-free strains of *Bacillus anthracis*. *Appl Environ Microbiol* 52, 444-449.
- Kramer MH, Ford TE (1994) Legionellosis: ecological factors of an environmentally 'new' disease. *Zentralbl Hyg Umweltmed* 195(5-6), 470-482.
- Kurtz JB, Bartlett CL, Newton UA, White RA, Jones NL (1982) *Legionella pneumophila* in cooling water systems. *J Hyg* 88, 369-381.
- Lau HY, Ashbolt NJ (2009) The role of biofilms and protozoa in *Legionella* pathogenesis: implications for drinking water. *J Appl Microbiol* 107, 368-378.
- Lee JV, West AA (1991) Survival and growth of *Legionella* species in the environment. *Soc Appl Bacteriol Symp Ser* 20, 121S-129S.
- Levetin E, Shaughnessy R, Rogers CA, Scheir R (2001) Effectiveness of germicidal UV radiation for reducing fungal contamination within air-handling units. *Appl Environ Microbiol* 67(8), 3712-3715.
- Liles MR, Scheel TA, Cianciotto NP (2000) Discovery of a nonclassical siderophore, legiobactin, produced by strains of *Legionella pneumophila*. *J Bacteriol* 182, 749-757.
- López A, Ros M (2005) Acondicionamiento del aire de locales y equipos de envasado ultralimpio y aséptico de alimentos listos para su consumo (ready-to-eat). *Avances en ciencias y técnicas del frío-III*. 2, 599-608.
- López-Gómez A (2007) Diseño Higiénico de los sistemas frigoríficos y de acondicionamiento de aire. Ponencia invitada. *IV Congreso Ibérico y II Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío*. Libro de Actas del Congreso. Universidade do Oporto (Porto, Portugal).
- López-Gómez A (2007) Emerging refrigeration technologies in food processing and packaging. Ponencia invitada. *II International Workshop on Advances in Engineering of HVAC&R*. Libro de Actas del Congreso. Universidade do Algarve (Faro, Portugal).
- López-Gómez A, Fernandez PS, Palop A, Periago PM, Martinez-López A, Marin-Iniesta F, Barbosa-Cánovas GV (2009) Food safety engineering: an emergent perspective. *Food Eng Rev* 1(1), 84-104.
- López-Gómez A, Castaño-Villar AM, Hernandez-Hernandez ME, Palop-Gomez A (2011) Innovative evaporative coolers, cooling towers and evaporative

condensers, with hygienic design. *The 23rd IIR International Congress of Refrigeration*, Pague. Czech Republic.

Macleod-Smith RI (2002) How to control *Legionella* without damaging your evaporative condenser. *11th annual institute of refrigeration conference*, London, 26 november, Baltimore Aircooled ltd.

Markarian J (2006) Steady growth predicted for biocides. *Plast Addit Compd* 8(1), 30-33.

Marston BJ, Plouffe JF, File TM Jr, Hackman BA, Salstrom SJ, Lipman HB, Kolczak MS, Breiman RF (1997) Incidence of community-acquired pneumonia requiring hospitalization. Results of a population-based active surveillance study in Ohio. The community-based pneumonia incidence study group. *Arch Intern Med* 157, 1709-1718.

Martins PF, Sbaite P, Benites C, Wolf-Maciel MR (2011) Thermal characterization of orange, lemongrass, and basil essential oils. *Chem Eng Trans* 24, 463-468

Maus R, Goppelsröder A, Umhauer H (2001) Survival of bacterial and mold spores in air filter media. *Atmos Environ* 35, 105-113.

McDeirmid AS, Lever MS (1996) Survival of *Salmonella enteritidis* PT4 and *Salmonella typhimurium* Swindon in aerosols. *Letters Appl Microbiol* 23, 107-109.

McCarthy SA (1992) Attachment of *Listeria monocytogenes* to chitin and resistance to biocides. *Food Technol* 46(12), 84-8.

McCoy WF (1998), Imitating natural microbial fouling control. *Mater Performance* 37, 45-48.

Menetrez MY, Foarde KK, Dean TR, Betancourt DA (2010) The effectiveness of UV irradiation on vegetative bacteria and fungi surface contamination. *Chem Eng J* 157, 443-450.

Moens E (EHEDG) (2002) The prevention and control of *Legionella* spp. (including Legionnaires' disease) in food factories. *Trends Food Sci Tech* 13, 380-384.

Möritz M, Peters H, Nipko B, Rüdén H (2001) Capability of air filters to retain airborne bacteria and molds in heating, ventilating and air-conditioning (HVAC) systems. *Int J Hyg Envir Heal* 203, 401-409.

- Mothershaw AS, Al Raisi AN (2008) Air as a source of bacterial contamination in a slaughterhouse prior to implementation of hygienic control systems. *Int J Postharvest Technol Innov* 1(3), 337-347.
- Mouchtouri VA, Goutziana G, Kremastinou J, Hadjichristodoulou C (2010) *Legionella* species colonization in cooling towers: Risk factors and assessment of control measures. *Am J Infect Control* 38, 50-5.
- Muhič S, Butala V (2004) The influence of indoor environment in office buildings on their occupants: expected–unexpected. *Build Environ* 39, 289-296.
- Murga R, Forster TS, Brown E, Pruckler JM, Fields BS, Donlan RM (2001) Role of biofilms in the survival of *Legionella pneumophila* in a model potable-water system. *Microbiol* 147, 3121-3126
- Neil K, Berkelman R (2008) Increasing incidence of legionellosis in the United States, 1990-2005: changing epidemiologic trends. *Clin Infect Dis* 47, 591-599.
- Ocon E, Gutierrez AR, Garijo P, Santamaria P, Lopez R, Olarte C, Sanz S (2011) Factors of influence in the distribution of mold in the air in a wine cellar. *J Food Sci* 76, 169-174.
- Pearce RA, Sheridan JJ, Bolton DJ (2006) Distribution of airborne microorganisms in commercial pork slaughter process. *Int J Food Microbiol* 107, 186-191.
- Piao, Z, Sze, CC, Barysheva, O, Lida, K, Yoshida, S (2006) Temperature-regulated formation of mycelial mat-like biofilms by *Legionella pneumophila*. *Appl Environ Microb*, 72(2), 1613-1622.
- Prendergast DM, Daly DJ, Sheridan JJ, McDowell DA, Blair IS (2004) The effect of abattoir design on aerial contamination levels and the relationship between aerial and carcass contamination levels in two Irish beef abattoirs. *Food Microbiol* 21, 589-596.
- Prince EL, Muir AVG, Thomas WM, Stollard RJ, Sampson M, Lewis JA (2002) An evaluation of the efficacy of Aqualox for microbiological control of industrial cooling tower systems. *J Hosp Infect* 52, 243-249.
- Qureshi BA, Zubair SM (2006) A comprehensive design and rating study of evaporative coolers and condensers. Part I. Performance evaluation. *Int J Refrigeration* 29, 645-658.
- Reeves MW, Pine L, Neilands JB, Balows A (1983) Absence of siderophore activity in *Legionella* species grown in iron-deficient media. *J Bacteriol* 154, 324-329.

- Refrigeración Industrial Zamora, S.L. *Automatic Hygienic Evaporative Cooler*, Lopez Gomez A, Palop Gómez A, Hernández Hernández ME, Castaño Villar AM, España, WO/2007/13521929, 29-11-2007.
- Reij MW, Den Aantrekker ED (2004) Recontamination as a source of pathogens in processed foods. *Int J Food Microbiol* 91, 1-11.
- Robine E, Boulangé-Petermann L, Derangère D (2002) Assessing bactericidal properties of materials: the case of metallic surfaces in contact with air. *J Microbiol Methods* 49, 225-234.
- Robine E, Lacaze I, Moularat S, Ritoux S, Boissier M (2005) Characterisation of exposure to airborne fungi: Measurement of ergosterol. *J Microbiol Meth* 63, 185-192.
- Rodríguez-Zaragoza S (1994) Ecology of free-living amoebae. *Crit Rev Microbiol* 20, 225-241.
- Rohr U, Weber S, Michel R, Selenka F, Wilhelm M (1998) Comparison of free-living amoebae in hot water systems of hospitals with isolates from moist sanitary areas by identifying genera and determining temperature tolerance. *Appl Environ Microbiol* 64, 1822-1824.
- Ronner A, Wong A (1993) Biofilm development and sanitizer inactivation of *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* on stainless steel and buna-N rubber. *J Food Prot* 56(9), 750-8.
- Rosmaninho R, Santos O, Nylander T, Paulsson M, Beuf M, Benezech T, Yiantsios S, Andritsos N, Karabelas A, Rizzo G, Muller-Steinhagen H, Melo LF (2007) Modified stainless steel surfaces targeted to reduce fouling-Evaluation of fouling by milk components. *J Food Eng* (80), 1176-1187.
- Rosset P (2002) Concepción o diseño de los equipos para el control de la higiene. En: Leveau JY, Bouix M *Manual técnico de higiene, limpieza y desinfección*. Primera edición. Madrid: AMV Ediciones, Mundiprensa. p. 443-456.
- Rota MC, Caporali MG, Massari M (2004) European Working Group for *Legionella* Infections. *European Guidelines for Control and Prevention of Travel Associated Legionnaires' Disease: the Italian experience*. Euro Surveill 9, 10-11.

- Rouaud O (2002) *Etudes numeriques et experimentales de dispositifs de protection contre la contamination aeroportée dans les industries alimentaires*. PhD thesis, ENITIAA, Nantes.
- Rowbotham TJ (1980) Preliminary report on the pathogenicity of *Legionella pneumophila* for freshwater and soil amoebae. *J Clin Pathol* 33, 1179-1183.
- Rowbotham TJ (1986) Current views on the relationships between amoebae, legionellae and man. *Isr J Med Sci* 22, 678-689.
- Sánchez E, Cava R, Taboada A, Marín F, López-Gómez A (2007a) Influencia de la limpieza del aire y de las superficies en instalaciones de envasado sobre la vida útil de productos agroalimentarios. *V Congreso Iberoamericano de Tecnología Poscosecha y Agroexportaciones*. Actas del Congreso. Universidad Politécnica de Cartagena (Murcia, España).
- Sánchez E, Marín F, López-Gómez A (2007b) Effect of the cleaning control in air and surfaces, within packaging facilities, on the shelf life of sliced meat products. *XXII International Congress of Refrigeration, IIR Conference*. Actas del Congreso. Beijing (China).
- Sánchez E, Marín F, López-Gómez A (2007c) Vida útil de la carne fresca de cerdo y ternera. Influencia del envasado y la temperatura de conservación. *IV Congreso Ibérico y II Congreso Iberoamericano de Ciencias y Técnicas del Frío*. Libro de Actas del Congreso. Universidade do Oporto (Porto, Portugal).
- Schmidt RH, Erickson DJ (2005) *Sanitary design and construction of food equipment*. Food Science and Human Nutrition Department, Florida Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida. Disponible en Web: <http://edis.ifas.ufl.edu>
- Seppänen O (2008) Scientific basis for design of ventilation for health, productivity and good energy efficiency. *Indoor Air Congress*, Copenhagen.
- Spurlock AT, Zottola EA (1991) The survival of *Listeria monocytogenes* in aerosols. *J Food Protect* 54, 910-912.
- Srikanth S, Berk SG (1994) Adaptation of amoebae to cooling tower biocides. *J Microbial Ecol* 27, 293-301.
- Storgårds E (2000) *Process hygiene control in beer production and dispensing*. Technical research centre of Finland. Valtion Teknillinen Tutkimuskeskus (VTT). Disponible en Web: www.vtt.fi/inf/pdf/publications/2000/P410.pdf

- Stout JE, Yu VL (1997) Legionellosis. *N Engl J Med* 337, 682-687.
- Stout JE, Yu VL, Best MG (1985) Ecology of *Legionella pneumophila* within water distribution system. *Appl Environ Microbiol* 49, 221-228.
- Sulzer (2012) *Maintenance Manual. Evaporative Condenser*. Alemania.
- Taboada A, Sánchez E, Cava R, Marín F, López-Gómez A (2007) Efectividad de desinfectantes de superficies de los equipos en instalaciones de envasado de productos listos para su consumo. *V Congreso Iberoamericano de Tecnología Poscosecha y Agroexportaciones*. Actas del Congreso. Univ. Politécnica de Cartagena (Murcia, España).
- Tamime AY (2009) *Milk processing and quality management*. Blackwell Publishing, Oxford.
- U.S. Environmental Protection Agency. *Legionella: Human health criteria document*. Washington, DC: Office of Ground Water and Drinking Water, November 1999. Disponible en Web: http://water.epa.gov/action/advisories/drinking/upload/2009_02_03_criteria_humanhealth_microbial_legionella.pdf
- Van der Kooija D, Veenendaala HR, Schefferb WJH (2005) Biofilm formation and multiplication of *Legionella* in a model warm water system with pipes of copper, stainless steel and cross-linked polyethylene. *Water Res.* 39 (13), 2789-2798.
- Vandenesch F, Surgot M, Bornstein N, Paucod JC, Marmet D, Isoard P, Fleurette J (1990) Relationship between free amoeba and *Legionella*: studies in vitro and in vivo. *Zentralbl Bakteriol.* 272(3), 265-275.
- Whyte P, Collins JD, Mc Gill K, Monohan C, O'Mahony H (2001) Distribution and prevalence of airborne micro-organisms in three commercial poultry processing plants. *J Food Protect* 64, 388-391.
- Whyte W (1986) Sterility assurance and models for assessing airborne bacterial contamination. *J Parent Sci Technol* 40, 188-97.
- Wildbrett G (2000) *Limpieza y desinfección en la industria agroalimentaria*. Esain-Escobar J. Zaragoza: Acribia. 349 p. ISBN: 84-200-0913-X.
- Wirtanen G (2002) *Clean air solutions in food processing*. VTT publications 482. Finland.
- Wirtanen G, Salo S (2003) Disinfection in food processing - efficacy testing of disinfectants. *Rev Environ Sci Biotechnol* 2, 293-306.

- Yoder J, Roberts V, Craun GF, Hill V, Hicks L, Alexander NT, Radke V, Calderon RL, Hlavsa MC, Beach MJ, Roy SL (2008) Surveillance for waterborne disease and outbreaks associated with recreational water use and other aquatic facility-associated health events-United States, 2005-2006 and surveillance for waterborne disease and outbreaks associated with drinking water and water not intended for drinking-United States, 2005-2006. *Morbid Mortal Wkly Rep Surv Summ* 57, 1-69.
- Yu VL, Plouffe JF, Pastoris MC, Stout JE, Schoushoe M, Widmer A, Summersgill J, File T, Heath CM, Paterson DL, Chereshtsky A (2002) Distribution of *Legionella* species and serogroups isolated by culture in patients with sporadic community-acquired legionellosis: an international collaborative survey. *J Infect Dis* 186(1), 127-128.
- Zottola RA, Schmeltz DL, Jezeski JJ (1970) Isolation of salmonellae and other airborne micro-organisms in turkey processing plants. *J Milk Food Technol* 33, 395-399.
- Zuraimi MS (2010) Is ventilation duct cleaning useful? A review of the scientific Evidence. *Indoor Air* 20, 445-457.

ANEXO I

Estadillos de toma de datos
para encuestas e inspecciones

TOMA DE DATOS EN CONDENSADORES EVAPORATIVOS INDUSTRIALES

Datos generales:

Nombre de la empresa: _____

Dirección: _____

Nombre del empleado que nos atiende y puesto: _____

Año de la instalación: _____

Condensador Evaporativo N°: _____

Potencia eléctrica instalada (ventilador más bomba, kW) _____

Potencia frigorífica (kcal/h, kW): _____

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Cerramiento exterior: material de construcción, acabados de superficie, detalles de diseño higiénico, estado de limpieza,...

Ventilador: tipo, material de construcción, características constructivas principales, transmisión de potencia, motor de accionamiento, diseño higiénico...

Separador de gotas: diseño, características constructivas principales, material de construcción, acabados de superficie, eficacia,...

Distribuidor de agua: número de boquillas, caudal de cada boquilla, diámetro del colector principal, anclaje de la boquillas en el colector de distribución, detalles de diseño higiénico, eficacia,...

Intercambiador de calor, de condensación: material de construcción, tamaño de los tubos (largo y diámetro), acabados de superficie...

Bomba de agua: material de construcción, montaje higiénico...

DATOS Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CONDENSADOR EVAPORATIVO:

Marca	
Modelo	
Código	
Dimensiones exteriores	Largo x Ancho x Alto (m)
Emplazamiento	
Ciclo de funcionamiento, en invierno, en verano, tiempos de paro y puesta en marcha (cada día...)	
Material constructivo del equipo (Cerramiento, tubos del intercambiador, balsa, ventilador)	
Identificación de muestra de material (número, y parte)	

Observaciones: _____

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS COMPONENTES (Fotos y muestras).

VENTILADOR

Materiales de construcción	
Potencia del motor y tamaño del ventilador (m³/h, kW)	
Tipo de Ventilador (axial, centrífugo...)	
Nivel de Ruido (alto, bajo ¿dB?)	

SEPARADOR DE GOTAS

Material de construcción	
Dimensiones	
Diseño (Dibujo de la sección, foto)	
Otras características constructivas	
Estado de limpieza	
¿Crecimiento de algas o biofilms?	

Observaciones: _____

DISTRIBUIDOR DE AGUA

Material de construcción	
Número de boquillas	
Caudal de cada boquilla	
Diámetro del colector principal	
Anclaje de la boquillas en el colector de distribución	
Estado de limpieza ¿presencia de algas, biofilms?	

INTERCAMBIADOR DE CALOR, DE CONDENSACIÓN

Material de construcción	
Tamaño de los tubos (largo y diámetro)	
Número de tubos, disposición y rugosidad superficial	
Diseño exterior entradas y salidas a los tubos	
Observación de depósitos de cal. Estado de limpieza	
¿Uniformidad de los depósitos de cal sobre los tubos? Describir en relación con las boquillas de agua	

REJILLAS DE ENTRADA DE AIRE

Material de construcción	
Disposición	
Tamaño	
Estado de limpieza	
¿Depósitos de cal? Uniformidad e la distribución	
Observaciones	

BALSA INFERIOR

Material de construcción	
Disposición para el drenado	
Tamaño	
Sistema de control del nivel de agua	
Filtro (material y disposición)	
Suciedad	

Observaciones: _____

BOMBA DE AGUA

Potencia (kW)	
Caudal (m³/h)	
Tipo / Modelo	
Material de Construcción	
Montaje	

SOPORTES INTERIORES

Material	
Número	
Disposición	
Estado de limpieza de los soportes. Depósitos de Cal	

Observaciones: _____

CARACTERIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA

Empresa contratada	
Vigilancia e inspección del equipo (si/no)	
Frecuencia	
Método	
Agentes de limpieza utilizados (Si/No)	
<ul style="list-style-type: none"> • Nombre Productos y tipo: detergente, inhibidor de la corrosión, compuestos clorados, etc. 	
<ul style="list-style-type: none"> • Concentración (% , ml/L, g/L, ...) 	
<ul style="list-style-type: none"> • Tiempos de limpieza (¿Cuánto dura la aplicación?) 	
Agua utilizada, (origen; pozo, red pública).	
Temperatura del agua que se aplica	
Presión de aplicación	
Tiempo	
Utensilios de limpieza: mangueras, cepillos, esponjas.	
Eficacia del procedimiento (según nuestro criterio). ¿Tienen Test de eficacia?	
Identificación de cada muestra de agua (Número y lugares muestreados)	

Observaciones: _____

CARACTERIZACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE DESINFECCIÓN

Agentes desinfectantes	
<ul style="list-style-type: none">• Productos	
<ul style="list-style-type: none">• Concentración	
<ul style="list-style-type: none">• Tiempos de aplicación	
<ul style="list-style-type: none">• Frecuencia de aplicación	
<ul style="list-style-type: none">• Método de Aplicación	
<ul style="list-style-type: none">• Cantidad de producto aplicada	

Observaciones: _____

DATOS DEL DISEÑO HIGIÉNICO*Tomar fotos y muestras:*

Identificación de muestras de Corrosión (lugares, número de muestras).	
Identificación de muestras de Suciedad, (lugares, número de muestras).	

Lugares a inspeccionar:

- Tubos
- Paredes
- Fondo
- Separador de gotas
- Ventanas laterales
- Filtro balsa
- Encuentros del tubo con soporte
- Boquillas de rociado
- Sistema de transmisión de potencia
- Parte superior del separador de gotas
- Tornillos
- Ventilador
- Diseño exterior entradas y salidas a los tubos
- Soportes interiores
- balsa

CARACTERÍSTICAS Y ACABADOS DE LAS SUPERFICIES QUE PUEDEN ESTAR EN CONTACTO CON EL AGUA (Especificar la zona donde se encuentre la anomalía) :

• Encuentros redondeados (si, no, dónde)	
• Encuentros en ángulo recto o inferior, (si, no, dónde)	
• Superficies lisas, (si, no, dónde)	
• Superficies rugosas, (si, no, dónde)	
• Superficies porosas, (si, no, dónde)	
• Superficies fácilmente desmontables, (si, no, dónde)	
• Superficies visibles para inspección, (si, no, dónde)	
• Superficies de fácil acceso, (si, no, dónde)	
• Superficies dispuestas de forma que faciliten el drenaje y vaciado automático, (si, no, dónde)	
• Superficies protegidas de los agentes del exterior, luz y materias extrañas	
• Superficies con un diseño interno con el menor número de hendiduras y espacios muertos en los que puedan quedar partículas retenidas	
• Superficies exteriores dispuestas de forma que no puedan alojar suciedad	

Observaciones: _____

ANEXO II

Resultados del estudio de los sistemas de limpieza y desinfección

Tabla II.1. Condensador 1.

PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA	
Empresa contratada	Sí
Vigilancia e inspección del equipo (si/no)	NO
Frecuencia de limpieza	2 veces al año
Método de aplicación	agua a presión
Agentes de limpieza utilizados (Si/No)	no
Nombre Productos y tipo: detergente, inhibidor de la corrosión, compuestos clorados, etc.	inhibidor de la corrosión HYDRO-CRM
Concentración (% , ml/L, g/L, ...)	20-100 ppm
Tiempos de limpieza (¿Cuánto dura la aplicación?)	5 horas
Agua utilizada, (origen; pozo, red pública).	red pública
Temperatura del agua que se aplica	ambiental
Presión de aplicación	100 bar
Utensilios de limpieza: mangueras, cepillos, esponjas.	limpiadoras de alta presión portátiles
Eficacia del procedimiento (según empresa).	Quedan residuos e incrustaciones que no pueden eliminar con este método
PROCEDIMIENTO DE DESINFECCIÓN	
Método de aplicación	Dosificación en continuo con bombas reguladoras de caudal
Agentes desinfectantes	Hipoclorito sódico
Concentración	2 ppm de Cl activo
Tiempos de aplicación	1-400 pulsos por minuto
Frecuencia de aplicación	según consumo del condensador
Otros Productos	desincrustante Hydro CRM
Cantidad de producto aplicada	3.5 ppm

Tabla II.2. Condensador 2.

PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA	
Empresa contratada	Sí
Vigilancia e inspección del equipo (si/no)	NO
Frecuencia de limpieza	2 veces al año
Método de aplicación	agua a presión
Agentes de limpieza utilizados (Si/No)	no
Nombre Productos y tipo: detergente, inhibidor de la corrosión, compuestos clorados, etc.	inhibidor de la corrosión HYDRO-CRM
Concentración (% , ml/L, g/L, ...)	20-100 ppm
Tiempos de limpieza (¿Cuánto dura la aplicación?)	5 horas
Agua utilizada, (origen; pozo, red pública).	red pública
Temperatura del agua que se aplica	ambiental
Presión de aplicación	100 bar
Utensilios de limpieza: mangueras, cepillos, esponjas.	limpiadoras de alta presión portátiles
Eficacia del procedimiento (según empresa).	Quedan residuos e incrustaciones que no pueden eliminar con este método
PROCEDIMIENTO DE DESINFECCIÓN	
Método de aplicación	Dosificación en continuo con bombas reguladoras de caudal
Agentes desinfectantes	Hipoclorito sódico
Concentración	2 ppm de Cl activo
Tiempos de aplicación	1-400 pulsos por minuto
Frecuencia de aplicación	según consumo del condensador
Otros Productos	desincrustante Hydro CRM
Cantidad de producto aplicada	3.5 ppm

Tabla II.3. Condensador 3.

PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA	
Empresa contratada	Sí
Vigilancia e inspección del equipo (si/no)	SI, pH, CE, Cl
Frecuencia de limpieza	2 veces al año
Método de aplicación	agua a presión
Agentes de limpieza utilizados (Si/No)	si
Nombre Productos y tipo: detergente, inhibidor de la corrosión, compuestos clorados, etc.	FORTEX desincrustante e Hipoclorito sódico
Concentración (% , ml/L, g/L, ...)	160 g/l
Tiempos de limpieza (¿Cuánto dura la aplicación?)	1 jornada completa
Agua utilizada, (origen; pozo, red pública).	red pública
Temperatura del agua que se aplica	ambiental
Presión de aplicación	100 bar
Utensilios de limpieza: mangueras, cepillos, esponjas.	hidrolimpiadora a presión
Eficacia del procedimiento (según empresa).	quedan incrustaciones calcáreas y suciedad
PROCEDIMIENTO DE DESINFECCIÓN	
Método de aplicación	Dosificación en continuo con bombas reguladoras de caudal
Agentes desinfectantes	Hipoclorito sódico
Concentración	4 ppm de Cl activo
Tiempos de aplicación	1-400 pulsos por minuto
Frecuencia de aplicación	según consumo del condensador
Otros Productos	desincrustante Fortex
Cantidad de producto aplicada	3.5 ppm
Observaciones	Uso ocasional de otros productos como Biodispersante PAB-13 y Antiespumante S-20

Tabla II.4. Condensador 4.

PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA	
Empresa contratada	Sí
Vigilancia e inspección del equipo (si/no)	SI, pH, CE, Cl
Frecuencia de limpieza	2 veces al año
Método de aplicación	agua a presión
Agentes de limpieza utilizados (Si/No)	si
Nombre Productos y tipo: detergente, inhibidor de la corrosión, compuestos clorados, etc.	FORTEX desincrustante e Hipoclorito sódico
Concentración (% , ml/L, g/L, ...)	160 g/l
Tiempos de limpieza (¿Cuánto dura la aplicación?)	1 jornada completa
Agua utilizada, (origen; pozo, red pública).	red pública
Temperatura del agua que se aplica	ambiental
Presión de aplicación	100 bar
Utensilios de limpieza: mangueras, cepillos, esponjas.	hidrolimpiadora a presión
Eficacia del procedimiento (según empresa).	quedan incrustaciones calcáreas y suciedad
PROCEDIMIENTO DE DESINFECCIÓN	
Método de aplicación	Dosificación en continuo con bombas reguladoras de caudal
Agentes desinfectantes	Hipoclorito sódico
Concentración	4 ppm de Cl activo
Tiempos de aplicación	1-400 pulsos por minuto
Frecuencia de aplicación	según consumo del condensador
Otros Productos	desincrustante Fortex
Cantidad de producto aplicada	3.5 ppm
Observaciones	Uso ocasional de otros productos como Biodispersante PAB-13 y Antiespumante S-20

Tabla II.5. Condensador 5.

PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA	
Empresa contratada	Si
Vigilancia e inspección del equipo (si/no)	si, sondas medidoras
Frecuencia de limpieza	semestral
Método de aplicación	agua a presión
Agentes de limpieza utilizados (Si/No)	SI
Nombre Productos y tipo: detergente, inhibidor de la corrosión, compuestos clorados, etc.	Fortex e Hipoclorito sódico
Concentración (% , ml/L, g/L, ...)	30 ppm NaClO, 6% fortex
Tiempos de limpieza (¿Cuánto dura la aplicación?)	1 jornada
Agua utilizada, (origen; pozo, red pública).	Agua de pozo osmotizada
Temperatura del agua que se aplica	ambiental
Presión de aplicación	100 bar
Utensilios de limpieza: mangueras, cepillos, esponjas.	hidrolimpiadora a presión
Eficacia del procedimiento (según empresa).	quedan restos no se puede asegurar al 100%
PROCEDIMIENTO DE DESINFECCIÓN	
Método de aplicación	Dosificación en continuo con bombas reguladoras de caudal
Agentes desinfectantes	Hipoclorito sódico
Concentración	2 ppm
Tiempos de aplicación	Diariamente según la medición de la sonda
Frecuencia de aplicación	35 pulsos por 100 m ³
Otros Productos	Fortex
Cantidad de producto aplicada	6%
Observaciones	Semanalmente realizan una desinfección general con NaClO manteniendo 5 ppm de Cl libre durante 5h

Tabla II.6. Condensador 6.

PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA	
Empresa contratada	Si
Vigilancia e inspección del equipo (si/no)	si, sondas medidoras
Frecuencia de limpieza	semestral
Método de aplicación	agua a presión
Agentes de limpieza utilizados (Si/No)	SI
Nombre Productos y tipo: detergente, inhibidor de la corrosión, compuestos clorados, etc.	Fortex e Hipoclorito sódico
Concentración (% , ml/L, g/L, ...)	30 ppm NaClO, 6% fortex
Tiempos de limpieza (¿Cuánto dura la aplicación?)	1 jornada
Agua utilizada, (origen; pozo, red pública).	Agua de pozo osmotizada
Temperatura del agua que se aplica	ambiental
Presión de aplicación	100 bar
Utensilios de limpieza: mangueras, cepillos, esponjas.	hidrolimpiadora a presión
Eficacia del procedimiento (según empresa).	quedan restos no se puede asegurar al 100%
PROCEDIMIENTO DE DESINFECCIÓN	
Método de aplicación	Dosificación en continuo con bombas reguladoras de caudal
Agentes desinfectantes	Hipoclorito sódico
Concentración	2 ppm
Tiempos de aplicación	Diariamente según la medición de la sonda
Frecuencia de aplicación	35 pulsos por 100 m ³
Otros Productos	Fortex
Cantidad de producto aplicada	6%
Observaciones	Semanalmente realizan una desinfección general con NaClO manteniendo 5 ppm de Cl libre durante 5h

Tabla II.7. Condensador 7.

PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA	
Empresa contratada	Si
Vigilancia e inspección del equipo (si/no)	si, sondas medidoras
Frecuencia de limpieza	semestral
Método de aplicación	agua a presión
Agentes de limpieza utilizados (Si/No)	SI
Nombre Productos y tipo: detergente, inhibidor de la corrosión, compuestos clorados, etc.	Fortex e Hipoclorito sódico
Concentración (% , ml/L, g/L, ...)	30 ppm NaClO, 6% fortex
Tiempos de limpieza (¿Cuánto dura la aplicación?)	1 jornada
Agua utilizada, (origen; pozo, red pública).	Agua de pozo osmotizada
Temperatura del agua que se aplica	ambiental
Presión de aplicación	100 bar
Utensilios de limpieza: mangueras, cepillos, esponjas.	hidrolimpiadora a presión
Eficacia del procedimiento (según empresa).	quedan restos no se puede asegurar al 100%
PROCEDIMIENTO DE DESINFECCIÓN	
Método de aplicación	Dosificación en continuo con bombas reguladoras de caudal
Agentes desinfectantes	Hipoclorito sódico
Concentración	2 ppm
Tiempos de aplicación	Diariamente según la medición de la sonda
Frecuencia de aplicación	35 pulsos por 100 m ³
Otros Productos	Fortex
Cantidad de producto aplicada	6%
Observaciones	Semanalmente realizan una desinfección general con NaClO manteniendo 5 ppm de Cl libre durante 5h

Tabla II.8. Condensador 8.

PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA	
Empresa contratada	si
Vigilancia e inspección del equipo (si/no)	no
Frecuencia de limpieza	dos veces al año
Método de aplicación	agua a presión
Agentes de limpieza utilizados (Si/No)	SI
Nombre Productos y tipo: detergente, inhibidor de la corrosión, compuestos clorados, etc.	Hipoclorito sódico e Hidro - IP
Concentración (% , ml/L, g/L, ...)	30 ppm NaClO
Tiempos de limpieza (¿Cuánto dura la aplicación?)	1 jornada
Agua utilizada, (origen; pozo, red pública).	Agua de pozo y agua de red pública
Temperatura del agua que se aplica	ambiental
Presión de aplicación	100 bar
Utensilios de limpieza: mangueras, cepillos, esponjas.	hidrolimpiadora a presión
Eficacia del procedimiento (según empresa).	La limpieza es difícil de conseguir en un alto grado
PROCEDIMIENTO DE DESINFECCIÓN	
Método de aplicación	Pastillas triple acción
Agentes desinfectantes	Acido tricloroisocianurico y sales minerales inorgánicas
Concentración	2 ppm
Tiempos de aplicación	tiempo de disolución de la tableta
Frecuencia de aplicación	Diariamente según la medición del Cl libre en la balsa
Otros Productos	Hidro -IP y ácido nítrico
Cantidad de producto aplicada	1 o 2 pastillas por aplicación

Tabla II.9. Condensador 9.

PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA	
Empresa contratada	si
Vigilancia e inspección del equipo (si/no)	no
Frecuencia de limpieza	dos veces al año
Método de aplicación	agua a presión
Agentes de limpieza utilizados (Si/No)	SI
Nombre Productos y tipo: detergente, inhibidor de la corrosión, compuestos clorados, etc.	Hidro CRM antiincrustante y anticorrosivo
Concentración (% , ml/L, g/L, ...)	30 ppm
Tiempos de limpieza (¿Cuánto dura la aplicación?)	1 jornada
Agua utilizada, (origen; pozo, red pública).	agua de red pública
Temperatura del agua que se aplica	ambiental
Presión de aplicación	100 bar
Utensilios de limpieza: mangueras, cepillos, esponjas.	hidrolimpiadora a presión
Eficacia del procedimiento (según empresa).	En general se consigue limpiar bien, se trata de una instalación muy nueva
PROCEDIMIENTO DE DESINFECCIÓN	
Método de aplicación	dosificación en continuo
Agentes desinfectantes	Hydro - Tol
Concentración	30 ppm
Frecuencia de aplicación	Diariamente
Otros Productos	Hydro CRM
Cantidad de producto aplicada	20 ppm

Tabla II.10. Condensador 10.

PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA	
Empresa contratada	SI
Vigilancia e inspección del equipo (si/no)	SI, pH, CE, Cl
Frecuencia de limpieza	2 veces al año
Método de aplicación	agua a presión
Agentes de limpieza utilizados (Si/No)	si
Nombre Productos y tipo: detergente, inhibidor de la corrosión, compuestos clorados, etc.	FORTEX desincrustante e Hipoclorito sódico
Concentración (% , ml/L, g/L, ...)	160 g/l
Tiempos de limpieza (¿Cuánto dura la aplicación?)	1 jornada completa
Agua utilizada, (origen; pozo, red pública).	red pública
Temperatura del agua que se aplica	ambiental
Presión de aplicación	100 bar
Utensilios de limpieza: mangueras, cepillos, esponjas.	hidrolimpiadora a presión
Eficacia del procedimiento (según empresa).	quedan incrustaciones calcáreas y suciedad
PROCEDIMIENTO DE DESINFECCIÓN	
Método de aplicación	Dosificación en continuo con bombas reguladoras de caudal
Agentes desinfectantes	Hipoclorito sódico
Concentración	4 ppm de Cl activo
Tiempos de aplicación	1-400 pulsos por minuto
Frecuencia de aplicación	según consumo del condensador
Otros Productos	desincrustante Fortex
Cantidad de producto aplicada	3.5 ppm
Observaciones	Uso ocasional de otros productos como Biodispersante PAB-13 y Antiespumante S-20

ANEXO III

Etapas, secuencias y
esquemas del sistema CIP

Tabla IV.1. Detalle de las etapas del programa de limpieza y desinfección

1	Inicio del ciclo
2	Vaciado de la balsa del condensador
3	Preenjuague con agua procedente del tanque de formulación
4	Recirculación dentro del condensador del agua del preenjuagado y vaciado
5	Preparación de la solución alcalina y agitación del tanque de formulación
6	Lavado alcalino con solución procedente del tanque de formulación
7	Recirculación dentro del condensador del agua del lavado alcalino y vaciado
8	Preparación del agua de enjuague alcalino en el tanque de formulación
9	Enjuagado con agua procedente del tanque de formulación
10	Recirculación dentro del condensador del agua del enjuagado y vaciado
11	Preparación de la solución ácida y agitación del tanque de formulación
12	Lavado ácido con solución procedente del tanque de formulación
13	Recirculación dentro del condensador del agua del lavado ácido y vaciado
14	Preparación del agua de enjuague ácido en el tanque de formulación
15	Enjuagado con agua procedente del tanque de formulación
16	Recirculación dentro del condensador del agua del enjuagado y vaciado
17	Preparación de la solución desinfectante y agitación del tanque de formulación
18	Desinfección con solución procedente del tanque de formulación
19	Recirculación dentro del condensador de la solución desinfectante y vaciado
20	Preparación del agua de enjuagado final en el tanque de formulación
21	Enjuagado con agua procedente del tanque de formulación
22	Recirculación dentro del condensador del agua del enjuagado
23	Recuperación del agua de enjuagado
24	Llenado de la balsa del condensador
25	Marcha de planta frigorífica

Tabla IV.2. Secuencia para programar el PLC.

FASES	FUNCIONES
[Inicio]	Paro de planta frigorífica + VACIADO BALSA + anulación de LLENADO BALSA
[Pre-enjuague]	PRE-ENJUAGUE
[Enjuague]	ENJUAGUE T3 + LLENADO DEPÓSITO
[Formulación sosa]	VACIADO BALSA + DOSIFICACIÓN SOSA + AGITACIÓN DEPÓSITO
[Pre-lavado sosa]	PRE-LAVADO + LIMPIEZA DOSIFICADOR
[Lavado sosa]	LAVADO T1 + LLENADO DEPÓSITO
[Preparación enjuague]	VACIADO BALSA + AGITACIÓN DEPÓSITO
[Pre-enjuague]	PRE-ENJUAGUE
[Enjuague]	ENJUAGUE T1 + LLENADO DEPÓSITO
[Formulación ácido]	VACIADO BALSA + DOSIFICACIÓN ÁCIDO + AGITACIÓN DEPÓSITO
[Pre-lavado ácido]	PRE-LAVADO + LIMPIEZA DOSIFICADOR
[Lavado ácido]	LAVADO T2 + LLENADO DEPÓSITO

ANEXO III

[Preparación enjuague]	VACIADO BALSA + AGITACIÓN DEPÓSITO
[Pre-enjuague]	PRE-ENJUAGUE
[Enjuague]	ENJUAGUE T2 + LLENADO DEPÓSITO
[Formulación desinfectante]	VACIADO BALSA + DOSIFICACIÓN DESINFECTANTE + AGITACIÓN DEPÓSITO
[Pre-lavado desinfectante]	PRE-LAVADO + LIMPIEZA DOSIFICADOR
[Lavado desinfectante]	LAVADO T3 + LLENADO DEPÓSITO
[Preparación enjuague]	VACIADO BALSA + AGITACIÓN DEPÓSITO
[Pre-enjuague]	PRE-ENJUAGUE
[Enjuague]	ENJUAGUE T3 + LLENADO DEPÓSITO
[Recuperación agua enjuague]	RECUPERACIÓN
[Final]	1º LLENADO BALSA 2º Habilita marcha planta
[Tratamiento desinfección]	TIEMPO DE TRATAMIENTO 1º DOSIFICACIÓN DESINFECTANTE BALSA 2º LIMPIEZA DOSIFICADOR

Nota IV.1. Detalle de las funciones del programa:

a. Llenado balsa. Marcha electro-válvula 34 permitiendo el paso del agua de red a través de la boya de llenado, hasta nivel (máx).

b. Vaciado balsa. Marcha electro-válvula 31 permitiendo su desagüe hasta nivel (mín).

c. Llenado depósito. Marcha electro-válvula 1 permitiendo el paso de agua de red hasta nivel (máx) o tiempo de seguridad de X minutos.

d. Prelavado o preenjuague (vaciado depósito). Paro válvula motoriz. 16 (posición C-A) + marcha válvula motoriz. 23 (posición C-B) + marcha bomba 19 + marcha electro-válvulas 35, 36, 37 alternativamente 30 segundos cada una, hasta nivel en depósito (mín), o tiempo de seguridad de X minutos.

e. Agitación depósito. Paro válvulas motoriz. 16 + 23 (posición C-A en ambas) + marcha bomba 19, hasta que el líquido de la balsa llegue al nivel (mín) o tiempo de seguridad de 5 minutos.

f. Recuperación. Marcha válvula motoriz. 16 (posición C-A) + paro electro-válvula 23 (posición C-B) + marcha bomba 19, hasta nivel de depósito (máx) o nivel de balsa (mín), o hasta tiempo de seguridad de X minutos.

g. Lavado o enjuague. Marcha válvulas motoriz. 16 + 23 (posición C-B en ambas) + marcha bomba 19 + marcha secuencial electro-válvulas 35, 36, 37 durante X minutos cada una.

Tiempos recirculación:

- T1 = 4 minutos c/una (recomendado sosa)
- T2 = 3 minutos c/una (recomendado ácido)
- T3 = 2 minutos c/una (recomendado desinfectante)
- T4 = X minutos c/una (varios)

h. Dosificación. Marcha electro-válvula 10 + marcha electro-válvula 3 ó 4 ó 5(según el caso) + marcha bomba dosificadora 8 durante X impulsos .

Los impulsos de la bomba y la electro-válvula a abrir para cada producto será:

- electro-válvula 3 durante X impulsos para Sosa (mezcla al 0.5%)
- electro-válvula 4 durante X impulsos para Ácido (mezcla al 0.5%)
- electro-válvula 5 durante X impulsos para Desinfectante (mezcla a 5 ppm)

i. Dosificación desinfectante balsa. Marcha electro-válvulas 10 + 5 + marcha bomba 8 durante X impulsos (mezcla 2ppm).

j. Limpieza dosificador. Marcha electro-válvulas 2 + 10 + 11 + marcha bomba 8 durante 1 minuto.

k. Tiempo de tratamiento. Tiempo de X horas que transcurre entre dos tratamientos. Comienza a contar desde FINAL del ciclo CIP, y se resetea al terminar LIMPIEZA DOSIFICACION, una vez dosificado el desinfectante en la balsa.

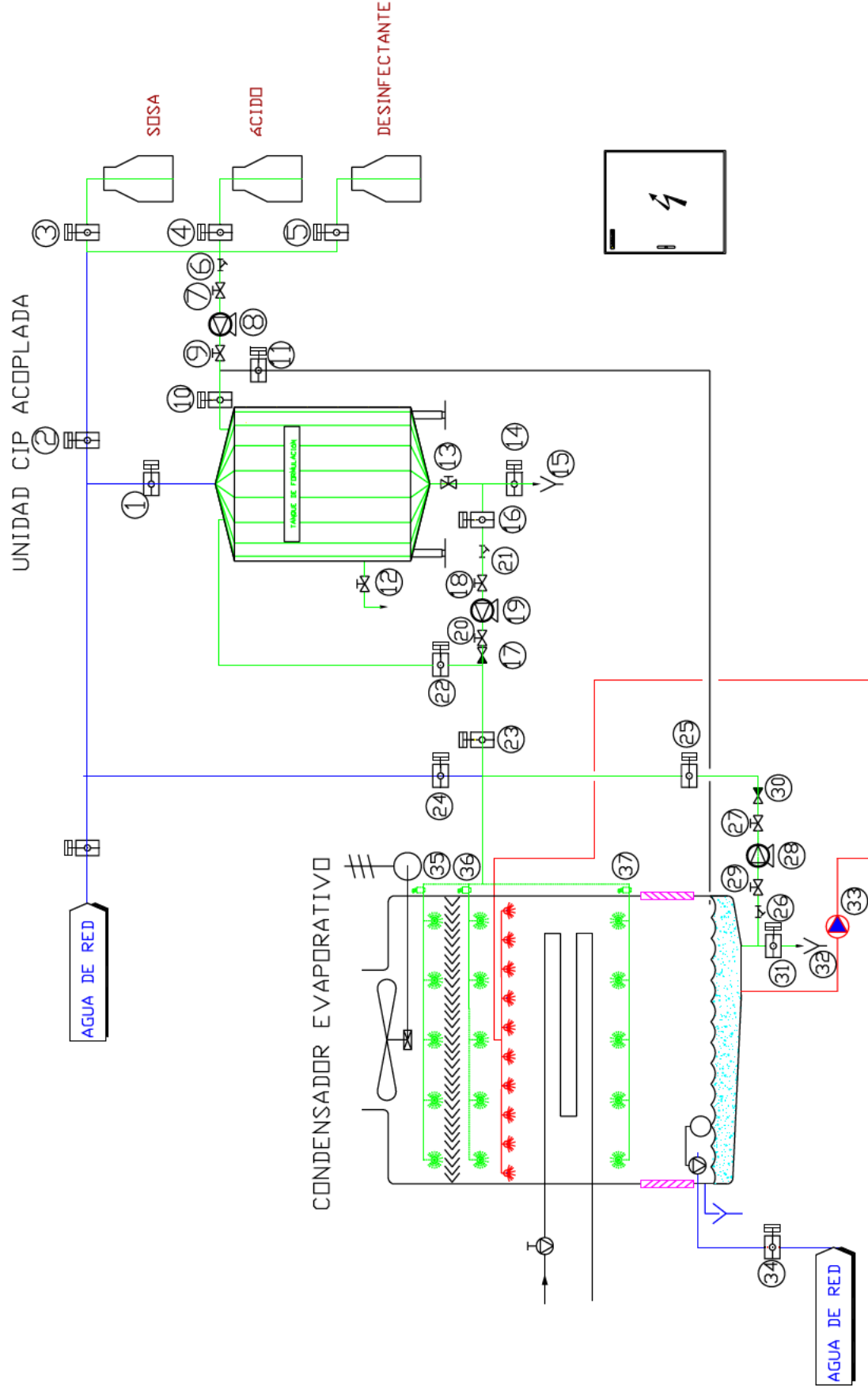


Figura IV.1 Esquema de sistema CIP.

Tabla IV.3. Listado de componentes del Sistema CIP acoplado al condensador.

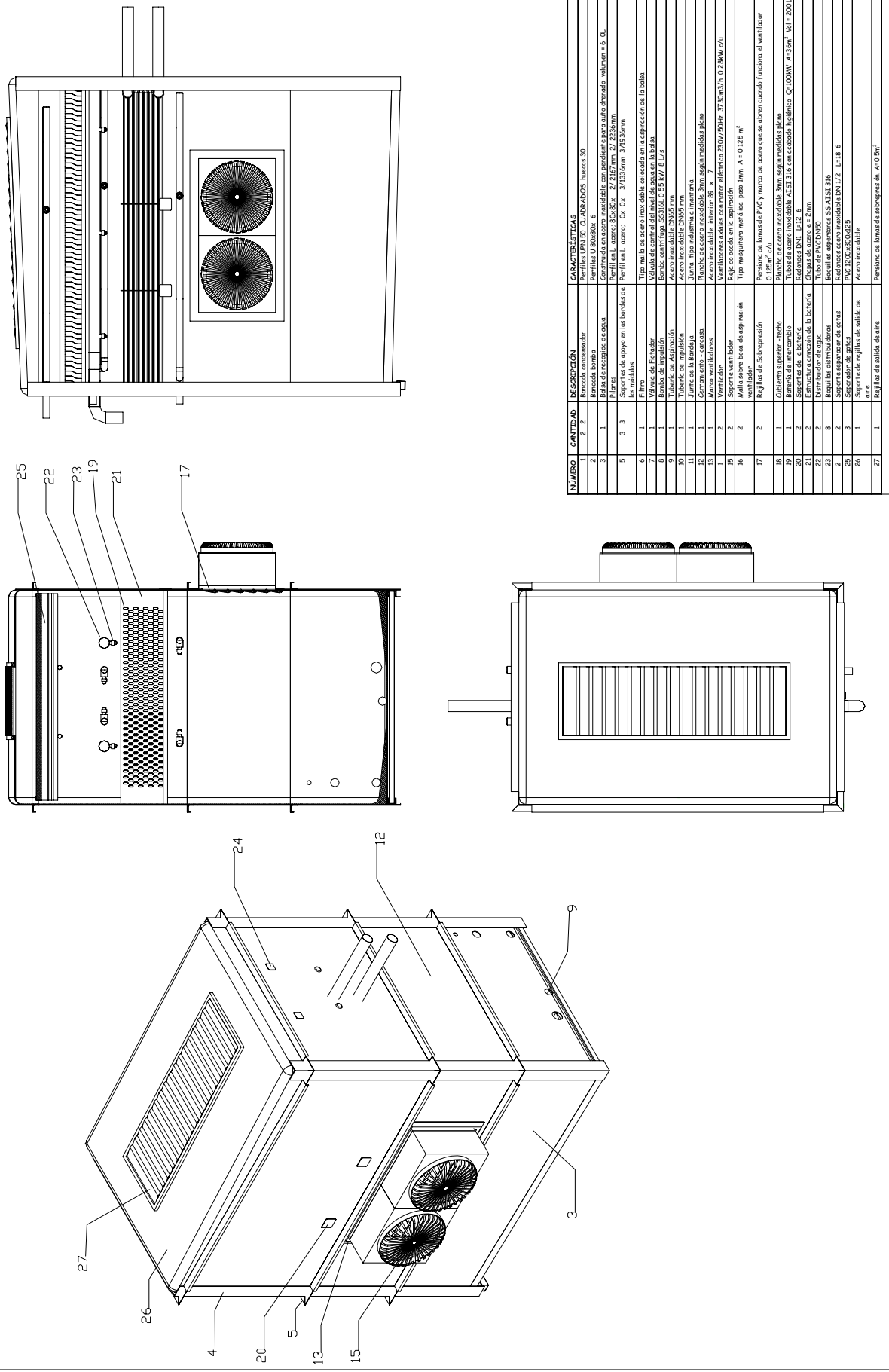
CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	TIPO	MATERIAL	DISTRIBUIDOR	CANTIDAD	IMPORTE	TOTAL
	SISTEMA CIP						
CIP001.	ml tubería	DN 40 / PN 16	PVC	cepex	20,00	1,00	20,00 €
CIP2.XX	válvula de paso	bola, DN 40	PVC	cepex	8,00	9,00	72,00 €
CIP3.XX	filtro en línea	Roscado DN 40 / PN 16	PVC	cepex	2,00	20,00	40,00 €
CIP004	depósito de desinfectante	NaClO 160 g/l	bidón 50 L		1,00	10,00	10,00 €
CIP005	depósito de sosa	NaOH 50 %	bidón 50 L		1,00	11,75	11,75 €
CIP006	depósito de ácido	HNO3 65 %	bidón 50 L		1,00	12,50	12,50 €
CIP7.XX	válvula antiretorno	bola, DN 40	PVC	cepex	3,00	12,00	36,00 €
CIP008	depósito de formulación	500 litros	PRFV		1,00	150,00	398,00 €
CIP9.8	bomba dosificadora	Electromagnética de membrana	PTFE	HASA	3,00	250,00	750,00 €
CIP10.28	bomba de recirculación	arrastre magnético 380v / 750 W	SS 316	blitz europa	1,00	668,30	668,30 €
CIP11.19	bomba de impulsión	arrastre magnético 380v / 1500 W	SS 316	blitz europa	1,00	1030,00	1.030,00 €
CIP12.XX	electroválvula	1 1/2"	PVC		19,00	42,00	798,00 €
CIP013	automata (PLC)	Logo / S7 - 200		SIEMENS	1,00	259,00	259,00 €
CIP014.XX	sensor de nivel	ultrasonidos o varilla			1,00	29,00	29,00 €
CIP15	caudalímetro				1,00	350,00	350,00 €
CIP16	uniones, codos, tes				1,00	-	- €
CIP014.XX	sonda de pH				1,00	98,00	98,00 €
CIP014.XX	sonda de CE sonda de T ^a	PT100			1,00	55,00	55,00 €
CIP014.XX	medidor de Cl libre				1,00	400,00	400,00 €
CIP17	boquillas aspersoras fijas	Spray balls 360° 2 bar	SS 316	Spraying systems	12,00	148,58	1.782,96 €
TOTAL							6.820,51 €

Nota: Precios orientativos.



ANEXO IV

Plano descriptivo de los
componentes del condensador
evaporativo



NÚMERO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS
1	2	Banco condensador	Perfiles UN 30 CUARADOS, lisos 30
2	2	Banco evaporador	Perfiles UN 30 CUARADOS, lisos 30
3	1	Batida de recepción de agua	Capacidad de acero inoxidable con pendiente para auto drenado, volumen = 6,0L
4	1	Placas	Perfil en L, acero, 80x80x 2/2,167mm, 2/2,236mm
5	3	Soportes de apoyo en las bordes de los módulos	Perfil en L, acero, 80x 3/1336mm, 3/1936mm
6	1	Valvula de flujo	Tip. valv. de acero inoxidable, colocada en la aspiración de la bomba
7	1	Valvula de flujo	Tip. valv. de acero inoxidable, colocada en la aspiración de la bomba
8	1	Bomba de impulsión	Bomba centrífuga SS316L 0,95 kW 8 L/s
9	1	Tubería de aspiración	Acero inoxidable DN65 mm
10	1	Tubería de impulsión	Acero inoxidable DN65 mm
11	1	Junta tipo industria a insertar	Junta tipo industria a insertar
12	1	Conexión de tuberías	Conexión de tuberías tipo 3/1336mm, 3/1936mm
13	1	Motor de la bomba	Acero inoxidable, motor 80W, 7
14	1	Ventilador	Ventiladores axiales con motor eléctrico 230V/50Hz, 3730m³/h, 0,28kW 2/4
15	2	Soporte ventilador	Soporte ventilador
16	2	Malta sobre boca de aspiración	Tip. resquitera perfil L, paso 1mm, A = 0,125 m²
17	2	Rejillas de extracción	Rejillas de extracción
18	1	Cubierta superior techo	Plancha de acero inoxidable, 3mm según medidas plano
19	1	Batería de intercambio	Tubos de acero inoxidable AISI 316 con acabado hidrúlico Q=100W, A=35m³, Vol. 200L
20	2	Soporte de a batería	Rejillas DN1, L=12, 6
21	2	Rejillas de extracción	Rejillas de extracción
22	2	Distribuidor de agua	Tubo de PVC DN50
23	8	Baquillas distribuidoras	Baquillas aporreamos SS AISI 316
24	2	Soportes de separación de grana	Rejillas de acero inoxidable DN1/2, L=18, 6
25	3	Soporte de grana	PVC 1200x900x125
26	1	Soporte de rejillas de salida de	Acero inoxidable
27	1	Rejillas de salida de aire	Perforado, lámina de acero inoxidable, A=0,3m²

PUBLICACIONES

PRESENCE OF *LEGIONELLA PNEUMOPHILA* IN EVAPORATIVE CONDENSERS AND ITS RELATION WITH THE CHARACTERISTICS OF THE WATER

A. CASTAÑO, E. HERNÁNDEZ, A. LÓPEZ, A. PALOP

Dept. Ing. Alimentos y Equipamiento Agrícola – UPCT, Paseo Alfonso XIII 48

Cartagena, 30203, Spain

Fax: +34 968 327031, e-mail: antonio.lopez@upct.es

ABSTRACT

Legionella is a microorganism widely spread in the aquatic environment, from where it may reach the supplying and distribution network of public water and, eventually, the refrigeration systems of industrial facilities and buildings. Particularly, the evaporative condensers are cooling devices that spread aerosols to the air, susceptible of containing *Legionella*. In these equipments several factors that favour the development and dispersion of this microorganism take place.

Therefore, evaporative condensers placed in refrigeration systems of food factories were characterized and sampled during a 5 month period. The most relevant physical and chemical characteristics of waters used in these evaporative condensers were determined. Besides, the presence of amoebae and other protozoans was analyzed, the number of mesophilic aerobic microorganisms was determined, and the presence of *Legionella* spp. was studied.

The physical and chemical characteristics of the water exceeded the recommended levels in many cases, showing that the water of the evaporative condensers had a poor quality. These poor characteristics make these facilities of high risk regarding colonization by *Legionella* spp. They also may hamper the effectiveness of disinfection and may lead to the deterioration of the equipment.

Most of the sampled facilities showed presence of amoeba and other protozoa, algae such as diatoms, as well as biofilm formation in the internal surfaces of condensers. The growth of these microorganisms is increased by sun light and dirtiness coming from the exterior of these condensers. Mesophilic aerobic microorganism counts were high in most of the samples, including those taken shortly after cleaning the equipment. These high counts indicate that the methods of disinfection used are not efficient and suggests that a re-evaluation of these methods as well as of the maintenance of the equipments should be carried out.

The analysis showed *Legionella pneumophila* presence in some of the evaporative condensers, in spite that all the facilities were exposed to a preventive treatment of cleaning and disinfection.

The results also showed that high counts of microorganisms are not always linked to *Legionella* presence.

1. INTRODUCTION

Evaporative condensers are cooling equipments with high risk of development and spread of *Legionella*. In these equipments, water is sprayed over a coil that contains a hot refrigerant. An ascending air flow passes through the system, causing the evaporation of water and cooling down the refrigerant, but also spreading outside certain amounts of drops that may be contaminated. The volume of air that passes through the condensers causes the incoming of organic matter and dirtiness inside the equipment, favouring the development of biofilms (Murga et al., 2001).

Biofilms are complex communities of microorganisms covered by an extracellular polymer that helps to retain the nutrients and to protect microorganisms against toxic agents. The polymer is a

polysaccharide and also gives structure to the community. Biofilms are hardly attached to the surface and modify when new microorganisms and more nutrients are incorporated (McCoy, 1998). *Legionella* is a gram – negative rod with one or more polar or lateral flagella, able to survive and develop within the biofilm matrix and responsible for the legionnaire's disease (Murga *et al.* 2001). This disease was recognized for the first time in people attending a hotel conference in the USA in 1976. Evaporative condensers may spread *Legionella* and this is the reason why these devices are subjected to a strict control of cleaning and disinfection (Kramer and Ford, 1994).

The use of chlorinated products for the disinfection of water leads to the corrosion of equipment materials and the high concentration of salts of the water gives rise to the formation of scales, hampering works of cleaning and disinfection. Lack of hygienic design enables microbial development, so that the installation becomes a suitable ecological niche for *Legionella* (Devos *et al.*, 2005).

In this study, a physical, chemical and microbiological characterization of the water of evaporative condensers exposed to bactericidal treatments and periodic cleaning and disinfection operations was performed, paying special attention to the presence of *Legionella*.

2. MATERIALS AND METHODS

The water of ten evaporative condensers, placed in refrigeration systems of food factories located at different geographical points of the Murcia Region (from Spain), was characterized and analyzed during a 5 month period. A total of 38 water samples were taken from late spring to early autumn of 2006, when most of the legionnaire's disease outbreaks appear. Sampling was performed every 15 – 20 days.

The physical and chemical characteristics of water used in condensers were determined before and after condenser cleaning. Total hardness, iron content and active chlorine were analyzed using colorimetric methods; chlorides and manganese were determined by atomic absorption and total solids by gravimetric analysis. Temperature, pH, and electric conductivity were also measured.

The microbiological characteristics of the water of condensers were also determined. The presence of amoeba and other protozoans was examined by culturing in agar-agar (Scharlab, Barcelona, Spain), incubating at 25 °C for 2 days and observation at the microscope.

Total aerobic mesophilic counts were done by spread in plate count agar (Scharlab) after appropriate dilution in buffered peptone water (Scharlab), and incubation at 30 °C for 2 days.

Legionella was detected and enumerated following the ISO 11731 procedure, incubating in GVPC agar (AES, Bruz Cedex, France) for up to 13 days at 37 °C and confirming presumptive colonies in BCYE agar (AES) for 2 days at 37 °C. The confirmation of presumptive colonies was performed using latex-agglutination test (OXOID, Basingstoke, United Kingdom).

3. RESULTS AND DISCUSSION

The physical and chemicals parameters of water can be related to the cleaning status of the condenser including the inherent quality of water. Figure 1 shows the average values of water pH found during analyses.

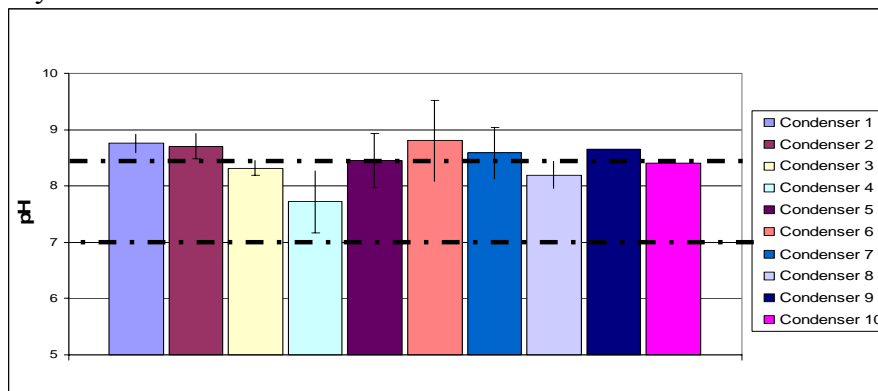


Figure 1. Water pH in the evaporative condensers (average values; error bars mean standard deviation). Dashed lines represent the advisable pH limits.

Although in some refrigerating facilities values were within the advisable limits, most of them showed values over the higher limit. A high pH was observed even after emptying, cleaning and disinfecting the evaporative condensers. Alkaline pH values of these waters would diminish the effectiveness of the biocide against microorganisms.

Figure 2 shows the average values of total free chlorine present in water of each evaporative condenser during a 5 month period. These values were, in general, outside the advised range.

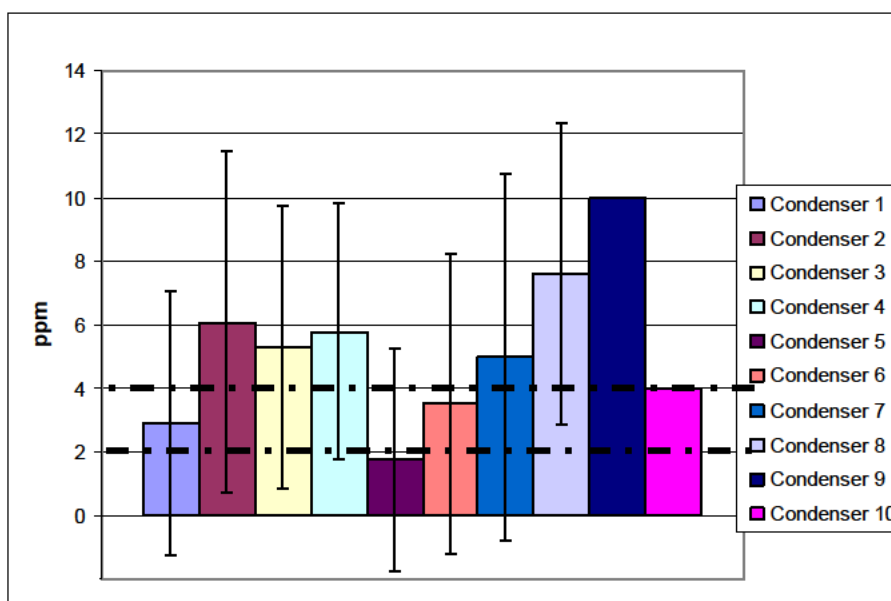


Figure 2. Total free chlorine of the water in the evaporative condensers (average values; error bars mean standard deviation). Dashed lines represent the advisable free chlorine limits.

The pH values and biocide levels observed, together with the presence of organic dirtiness that make difficult the bactericidal action are an obvious risk for microbial proliferation within evaporative condensers (figures 1 and 2).

The use of disinfectants in these evaporative condensers is compulsory. The disinfection is performed in continuous and usually through of dose-supplying systems consisting of electromagnetic pumps. The most used disinfectant is chlorine. Although it is cheap and effective when adequate hygiene conditions take place, effectiveness largely decreases in equipments poorly kept and cleaned.

Furthermore, suitable levels of disinfection are difficult to keep in water, because fully automatic systems are not used. Levels of residual free chlorine in water fluctuate very much, so that the level of active chlorine in the equipments shows very different levels along the day. For this reason, most of the companies choose to add very high amounts of disinfectant. However, these large amounts are inefficient when these condensers are dirty. They also lead to a physical corrosion that decreases the performance and self life of the evaporative condensers.

Electric conductivity is an indirect measure of the quantity of salts dissolved in water, and therefore, it helps to know the quality of water and its capacity to forming lime incrustations. Figure 3 shows the average values of water electric conductivity for the sampled evaporative condensers.

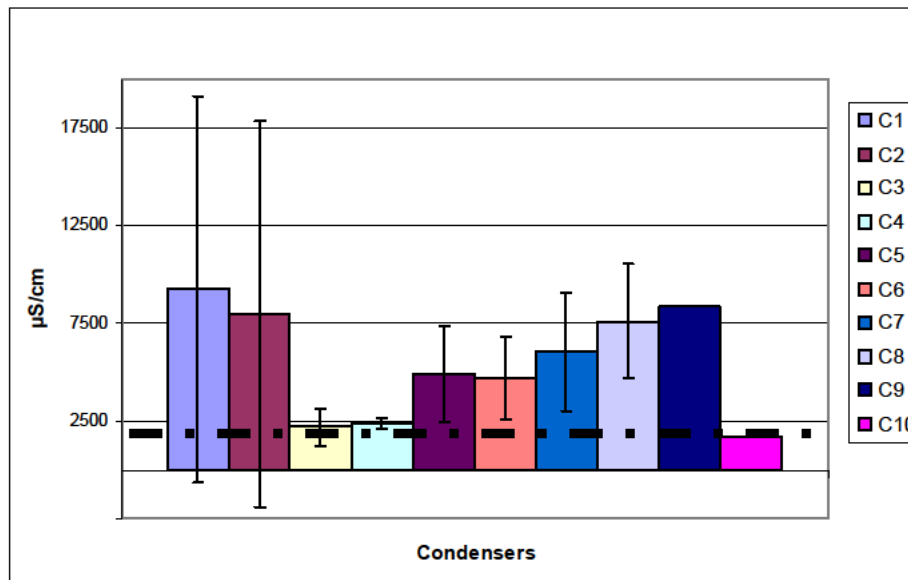


Figure 3. Water conductivity in the evaporative condensers (average values; error bars mean standard deviation). Dashed line represents the maximum advisable conductivity limit.

The analysis showed values over 5000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ in many cases. 2000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ is the most agreed limit for the evaporative condensers, and this value was exceeded in most of the analyses. The cooling water is evaporated and replaced constantly, remaining the salts and solids that were dissolved within the evaporative condensers. Hence, water contains high contents of salts that will produce inlays and will also decrease the heat exchange and the general performance of the equipment.

The elevated concentration of salts is generated because bleed of water from the system is insufficient. The evaporative condensers that had conductivity-meters and perform water bleeding from the condenser when necessary, showed better status of cleaning. This parameter is useful, since using it in a suitable way, will help preserve the equipment clean, decreasing the accumulation of dissolved solids. Besides they will generate fewer incrustations in the evaporative condenser, giving fewer opportunities for *Legionella* development. However, in areas where the hardness of water is high, a system of bleed controlled by conductivity will result in a great consumption of water.

The total solids parameter includes the total contents of salts and organic matter present in water, either dissolved or suspended. Figure 4 shows the average total solids present in the evaporative condensers.

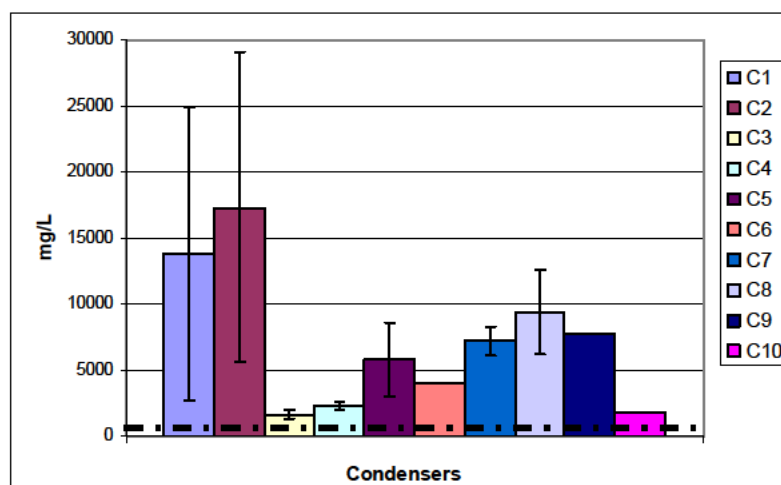


Figure 4. Total solids in the water of the evaporative condensers (average values; error bars mean standard deviation). Dashed line represents the maximum advisable total solids limit.

The condensers showed high values of total solids even after cleaning with manual methods using high-pressure washing machines. These values were always higher than the 500 mg/L advised limit. These residues present in water decrease the efficacy of the bactericide and induce a bigger damage of evaporative condensers, decreasing its self life. Moreover, they are used as nutrient by the microorganisms that colonize the internal surfaces of these condensers.

Deficient maintenance, cleaning and hygiene of evaporative condensers were also reflected in other parameters (data not shown). In general the water of the evaporative condensers had a very high hardness, over 300 French degrees. These values will lead, again, to the formation of inlays, where dirt and microorganisms will be retained, and from where it will be more difficult to eliminate them. Presence of chlorides speeds up the corrosion of the steel. 50% of the values were between 3000 and 4000 mg/L of Cl^- , and all the values were over the advisable level (250 mg/L). The corrosion products (oxides) are an extra source of nutrients for microorganisms. In this way, the corrosion of the equipment will be shown in different ways, including the rusting of the tubes package for heat exchange. This rust will produce little leaks of gas refrigerant that will decrease the performance of these condensers.

Manganese and magnesium, together with zinc and iron are basic elements for *Legionella* growth, iron and zinc requirements being the more important (Reeves *et al.*, 1983). This may partially explain the proliferation of bacteria in evaporative condensers and cooling towers made in galvanized steel, instead of other more suitable materials.

Iron is an essential nutrient for *Legionella pneumophila* growth. Gram negative bacteria need in general a concentration of 0.8 - 1.8 μM iron (James *et al.* 1995). *Legionella* is able to uptake iron even in adverse environments, so that concentration of iron as low as 0.056 ppm would be sufficient (Devos *et al.* 2005). *Legionella* also has the ability of using iron chelators (Liles *et al.* 2000).

In our research iron appeared was present over the advisable limits. Besides, every time that in an evaporative condenser was detected *Legionella pneumophila* the levels of iron were over 0.1 ppm.

Figure 5 shows log of aerobic microorganism counts in the waters used in the evaporative condensers. Half of the facilities sampled never showed values within the advisable total microbial counts (10^4 CFU/ml) and 61% of the analyses performed exceeded the maximum advisable level.

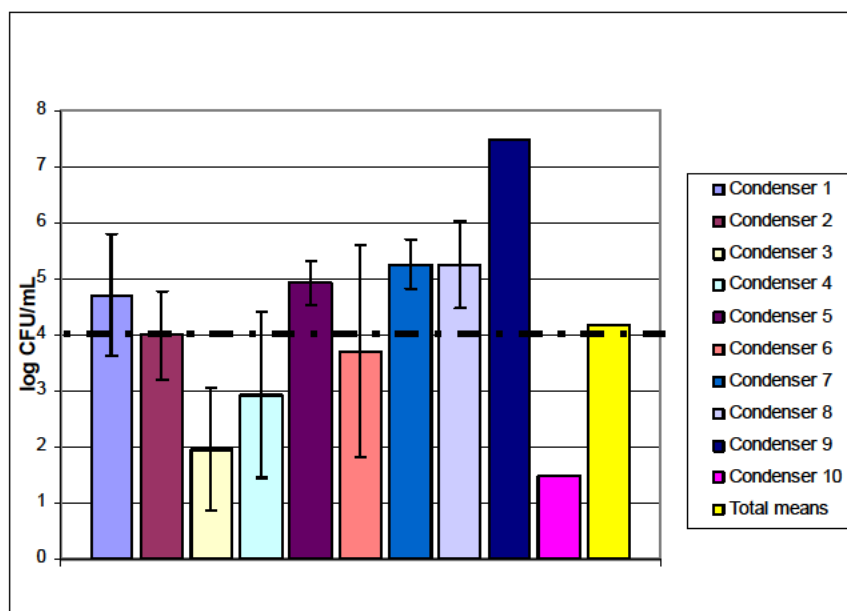


Figure 5. Aerobic mesophilic microorganism counts in the water of the evaporative condensers (average values; error bars mean standard deviation). Dashed line represents the maximum advisable count.

The cleaning of these evaporative condensers did not decrease the concentration of microorganisms. Counts of aerobic mesophilic microorganism were even increased after cleaning in 56 % of the cases. All the evaporative condensers showed presence of protozoans. The protozoans are resistant to the biocides (McCoy, 1998). Even more amoebae present in the water of evaporative coolers treated with biocides are more resistant than those found in other habitats (Srikanth and Berk, 1994). Besides algae presence was detected in many cases.

Legionella pneumophila was found in some of the evaporative condensers, linked in all cases to the presence of amoebae or other protozoans that may have symbiotic relationships with the microorganism. On the other hand, aerobic total counts lower than 10^4 CFU/mL did not ensure that there is no risk of *Legionella*: in waters from condensers that showed total counts within these advisable values, presumptive *Legionella* colonies were found. In addition, high aerobic counts were not necessarily related to the presence of the pathogen in water.

Temperature is a key factor for *L. pneumophila* growth. In our study temperature was always within the ranges of risk of proliferation of *Legionella* (data not shown), over 20 °C (Stout *et al.* 1985). These temperatures are usual at this time of the year in this region. Although a clear correlation could not be found, the evaporative condenser where more *Legionella* positives were found was that with higher temperatures. Moreover, it was observed that if cleaning was performed adequately, a high temperature was not necessarily related to high microbial counts in these equipments.

It looks, therefore, that the methods used for cleaning are not effective in decreasing the dirtiness of evaporative condensers.

Therefore, the inefficiency of the cleaning and disinfection systems used to fight against *Legionella* has been shown. If these methods are not performed in an adequate way, they can even lead to a *Legionella* concentration increase in water, because organic matter remains, providing nutrients not only for *Legionella* but for all types of microorganisms. Moreover, the inlays and biofilms formed will not be completely eliminated (Kramer and Ford, 1994). It has been found that *Legionella* may develop inside protozoans (Vandenesch *et al.* 1990). This capability explains in part the high risk of *L. pneumophila* growth in evaporative condensers and similar devices. Besides algae can also promotes the *Legionella* growth (Lee and West 1991).

The control of these evaporative condensers is performed by maintenance companies. They should improve the quality of the services that they offer. Problems such as the bad use of chemical agents, the failures of the dose-supplying systems, or an inadequate cleaning of the evaporative condensers, must be solved.

4. CONCLUSIONS

Physical and chemical analyses have shown that the water of the evaporative condensers does not fulfil the requirements for cleaning and disinfection.

Protozoans and algae have been detected in all the sampled evaporative condensers.

Mesophilic aerobic counts were over 10^4 CFU/mL in two thirds of the samples of water from the evaporative condensers analysed. Nevertheless, a correlation between the presence of *Legionella* and mesophilic aerobic counts has not been found.

The analyses showed that *Legionella pneumophila* was present in some of the evaporative condensers, even when all of them were under a preventive treatment of disinfection and cleaning against *Legionella*.

At present, these evaporative condensers are not built with a hygienic design, making even worst the low efficacy of the method used for cleaning. The hygienic design of condensers should be accomplished, based on a solid knowledge of microbiology and hygienic engineering. This hygienic design should be taken into account from the very initial phase of development and conception of these evaporative condensers.

The good practices in designing engineering and in the maintenance of evaporative condensers will help to control the pathogen and to avoid the spreading of the disease.

5. REFERENCES

1. Bentham RH. 2000, Routine Sampling and the Control of *Legionella* spp. in Cooling Tower Water Systems. *Current Microbiology*, 41, 271:275.
2. Devos L, Boon N, Verstraete W. 2005, *Legionella pneumophila* in the environment: occurrence of a fastidious bacterium in oligotrophic conditions. *Rev. Environ. Sci. Biotechnol.*, 4:61-74.
3. EHEDG, 2002, *The prevention and control of Legionella spp (incl Legionnaire's Disease) in Food Factories*, CCFRA Technology Ltd. Doc. 24, 24p.
4. Fields B S. 1996, The molecular ecology of legionellae. *Trends Microbiol.*, 4, 286:290.
5. James BW, Mauchline WS, Fitzgeorge RB, Dennis PJ, Keevil CW. 1995, Influence of iron-limited continuous culture on physiology and virulence of *Legionella pneumophila*. *Infect. Immun.*, 63: 4224–4230.
6. Kramer MH, Ford TE. 1994, Legionellosis: ecological factors of an environmentally 'new' disease. *Zentralbl Hyg Umweltmed*, 195(5-6):470-482.
7. Lee JV, West AA. 1991, Survival and growth of *Legionella* species in the environment. *Soc Appl Bacteriol Symp Ser.* 20:121S-129S.
8. Liles MR, Scheel TA, Cianciotto NP. 2000, Discovery of a nonclassical siderophore, legiobactin, produced by strains of *Legionella pneumophila*. *J. Bacteriol.*, 182: 749–757.
9. McCoy, WF. 1998, Imitating natural microbial fouling control. *Mater. Performance*, 37:45–48.
10. Murga R, Forster TS, Brown E, Pruckler JM, Fields BS, Donlan RM. 2001, Role of biofilms in the survival of *Legionella pneumophila* in a model potable-water system. *Microbiology*, 147, 3121-3126.
11. Reeves MW, Pine L, Neilands JB, Balows A. 1983, Absence of siderophore activity in *Legionella* species grown in irondeficient media. *J. Bacteriol.*, 154: 324–329.
12. Srikanth S, Berk SG. 1994, Adaptation of amoebae to cooling tower biocides. *Journal Microbial Ecology*, 27, 293:301.
13. Stout JE, Yu VL, Best MG. 1985, Ecology of *Legionella pneumophila* within water distribution system. *Appl. Environ. Microbiol.*, 49:221-228.
14. Vandenesch F, Surgot M, Bornstein N, Paucod JC, Marmet D, Isoard P, Fleurette J. 1990, Relationship between free amoeba and *Legionella*: studies in vitro and in vivo. *Zentralbl Bakteriolog.*, 272(3):265-275.

Necesidad del diseño higiénico en condensadores evaporativos y torres de enfriamiento

Antonio Castaño, Esther Hernández, Antonio López*, Alfredo Palop

Grupo de Investigación en Ingeniería del Frio y del Control Microbiano.

Departamento de Ingeniería de Alimentos y del Equipamiento Agrícola.

Universidad Politécnica de Cartagena

Paseo Alfonso XIII 48, Cartagena, 30203, España

Tel: +34 968 325516 Fax: +34 968 325433

e-mail: antonio.lopez@upct.es

Resumen

Los condensadores evaporativos y las torres de enfriamiento actuales son equipos donde se tiene un ensuciamiento acumulativo cuya limpieza es difícil y poco eficaz, por no tener un diseño higiénico adecuado. Además, la limpieza con una frecuencia inadecuada, la continua recirculación de agua de pobre calidad, y que puede estar a temperatura relativamente alta en estos equipos, y la exposición permanente, en la mayoría de los casos, a la contaminación aereotransportada procedente del aire exterior (materiales orgánicos e inorgánicos) convierten a estos equipos en focos de agua contaminada con alto riesgo de formación de biofilms resistentes, y de proliferación de patógenos como *Legionella*.

En este trabajo se presenta el análisis de los defectos de diseño higiénico de los equipos actuales de enfriamiento evaporativo, que se utilizan habitualmente en la mayoría de las instalaciones frigoríficas industriales y de acondicionamiento de aire de edificios de uso diverso. Se analiza también la relación de este diseño higiénico defectuoso con el problema de presencia en estos equipos de contaminación por *Legionella*.

Palabras clave: condensadores evaporativos, torres de enfriamiento, diseño higiénico, *Legionella*.

1 Introducción

Las torres de enfriamiento y los condensadores evaporativos son equipos con un elevado riesgo de proliferación y dispersión de *Legionella*. El agua de enfriamiento que utilizan puede, por tanto, estar contaminada y dispersarse en la atmósfera, debido a los grandes volúmenes de aire que mueven estos aparatos [3, 4, 5].

Si la limpieza y desinfección no se realiza adecuadamente los biofilms que colonizan estas instalaciones seguirán proliferando e incluso, ayudarán a que las comunidades microbianas allí presentes sean más resistentes a los biocidas [6].

Un adecuado diseño higiénico y una elección adecuada de materiales serán fundamentales para garantizar el éxito de las medidas sanitarias que se adopten, ya que lograrán disminuir el ensuciamiento y la contaminación microbiana de las superficies internas de estos equipos y también del agua.

El diseño de una torre de enfriamiento o de un condensador evaporativo se considera "higiénico" si incorpora, con carácter preventivo, características que reducen o eliminan el riesgo de constituir una fuente de contaminación del agua, tanto de forma directa como indirecta.

Parte de este trabajo ha consistido en determinar las carencias de diseño higiénico de las torres de enfriamiento y condensadores evaporativos, analizando los detalles constructivos actuales y las características de los materiales de fabricación. Además, estos defectos se han relacionado con la ineficiencia de los procedimientos de limpieza y desinfección que se aplican sobre estos aparatos de enfriamiento evaporativo. Por último, en este trabajo se ha desarrollado una solución de diseño higiénico y condiciones de mantenimiento que corrigen de forma considerable el elevado riesgo de proliferación y difusión de *Legionella pneumophila* en estos equipos.

2 Materiales y métodos.

Se han realizado inspecciones y encuestas a un total de 5 empresas del sector agroalimentario situadas en la Región de Murcia (España), durante la primavera y verano de 2006, época en la que se da un mayor número de brotes de legionelosis. Se han analizado y caracterizado 10 instalaciones frigoríficas determinándose en cada caso los detalles constructivos y de diseño de estos enfriadores evaporativos, así como los defectos de los mismos en base a los criterios de diseño higiénico aplicados en los equipos de procesado de alimentos [1, 2].

Se han caracterizado los métodos de limpieza y desinfección, y se han evaluado mediante el análisis del agua con el enfriador evaporativo funcionando, antes y después de limpiar los equipos. En estas aguas se ha analizado la dureza total, el contenido en hierro y cloro activo por colorimetría, cloruros y manganeso por absorción atómica, sólidos totales por gravimetría, temperatura, pH, y conductividad eléctrica.

Se ha analizado la presencia en el agua de amebas y otros protozoos mediante el cultivo en agar – agar (Scharlab, Barcelona, España), incubación a 25 °C durante 2 días y observación al microscopio de contraste de fases.

Se ha realizado el recuento total de microorganismos aerobios mesófilos por siembra en placa con homogeneización en masa, e incubación en agar PCA (Scharlab) a 30 °C durante 2 días.

La presencia de *Legionella* spp. se ha determinado mediante el método descrito en las normas ISO 11731:1998 e ISO 11731-2:2004 por siembra en agar GVPC (AES, Bruz Cedex, Francia) e incubación durante 13 días a 37 °C y confirmación en agar BCYE y agar BCYE sin cisteína (AES) durante 2 días a 37 °C. La confirmación de colonias sospechosas se realizó mediante pruebas de aglutinación de látex (OXOID, Basingstoke, Reino Unido).

Se ha estudiado el uso de materiales alternativos para la construcción y adecuado diseño higiénico de las torres de enfriamiento y condensadores evaporativos.

Utilizando técnicas de diseño 3D (herramienta CATIA) se ha desarrollado un nuevo tipo de torres de enfriamiento y condensadores evaporativos que incorporan todas las mejoras posibles desde el punto de vista del diseño higiénico, y que llevan acoplado un sistema automático de limpieza y desinfección.

Por último, la evaluación de la limpiabilidad de los nuevos prototipos desarrollados y construidos se ha llevado a cabo a través de una adaptación de los métodos propuestos por la EHEDG para equipos de procesado de alimentos. Para los test de desinfección se ha utilizado el microorganismo *Pseudomonas aureginosa* (Scroeter, 1872) que es una bacteria que convive con *Legionella* en los biofilms y tiene características similares. *Pseudomonas aeruginosa* se utiliza para la evaluación de la actividad bactericida en la desinfección de superficies (NF:T72-281, 1986).

3 Resultados y Discusión

En las torres de enfriamiento y condensadores evaporativos las deficiencias en el diseño higiénico son las que provocan la contaminación del agua y aumentan o dificultan las tareas de mantenimiento, limpieza y desinfección.

En los equipos estudiados las superficies internas presentan un diseño higiénico incorrecto que propicia la acumulación de suciedad, siendo muy frecuente la presencia de ángulos rectos en vez de encuentros redondeados y el uso de medios de fijación que permiten alojar suciedad que, a posteriori, será difícil de limpiar sirviendo como reservorio de microorganismos.

La Figura 1 muestra un ejemplo de los efectos derivados de un diseño higiénico incorrecto y la inexistencia de un adecuado drenaje de la balsa inferior de estos equipos además de la aplicación de una limpieza absolutamente deficiente.



Figura 1 Restos orgánicos en la balsa inferior de recogida de agua de un condensador evaporativo.

Todas las zonas internas del equipo que entran en contacto con el agua deben tener una solución de diseño tal, que permitan el drenado total de la misma, y de los productos de limpieza y desinfección que se utilicen.

Los equipos se diseñarán, en la medida de lo posible, para proteger el agua del interior de la contaminación externa. Por ello, es interesante que las superficies exteriores, y en general aquellas que no estén en contacto directo con el agua de enfriamiento, se dispongan de forma que eviten la acumulación de suciedad y faciliten su limpieza. Además, deben diseñarse de manera que se impida la entrada de elementos extraños que ensucien y contaminen el agua como, los restos orgánicos, y otras materias sólidas que aporten nutrientes al desarrollo microbiano y disminuyan la calidad del agua. De lo contrario, la formación de algas, fangos y biofilm, se verá favorecida, con el consiguiente riesgo de desarrollo de bacterias patógenas (Figura 1).

De este modo la aptitud a la limpieza de los equipos se aborda desde una perspectiva constructiva fácilmente aplicable por los fabricantes, estableciéndose unas reglas básicas a las que deben acogerse.

Las aguas analizadas han presentado un contenido medio en carbono orgánico de 26 ppm, valor muy superior al máximo recomendable (14 ppm). Este valor medio incluso ha llegado a ser de 79 ppm en algunos equipos, y esto denota un gran ensuciamiento orgánico procedente del exterior.

Se ha podido observar que las aguas utilizadas en las torres de enfriamiento y en los condensadores evaporativos son de una dureza muy elevada, registrando valores medios en las instalaciones de 2000 mg/L de CaCO_3 . El valor medio de sólidos totales en las aguas ha sido de 7000 mg/L, y la conductividad media es de 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Esto demuestra el elevado ensuciamiento, y poder incrustante del agua así como la falta de eficacia en la limpieza de los equipos ya que los parámetros no se han mantenido dentro de los niveles recomendables.

Los materiales utilizados en la construcción de estos aparatos, deben ser inertes (resistentes) frente al agua, los detergentes y los desinfectantes utilizados, para evitar la migración de sustancias que puedan ser aprovechadas por microorganismos, en todo el rango de condiciones de operación. Asimismo, deben ser no porosos ni absorbentes y satisfacer unos requerimientos de rugosidad mínima para que la acción mecánica de la limpieza sea eficaz, debiendo estar libres de grietas y defectos que puedan dar refugio a los microorganismos y faciliten la formación de biofilms.

Los condensadores evaporativos y las torres de enfriamiento analizados están fabricados con materiales metálicos y plásticos, principalmente el acero galvanizado y el poliéster reforzado con fibra de vidrio (PRFV), que no presentan un comportamiento adecuado.

Los equipos metálicos son los más extendidos en el mercado, pero la corrosión que se genera en ellos puede ser un problema, ya que *Legionella* y otros microorganismos se pueden refugiar en las alteraciones producidas en el metal por culpa de la corrosión y además disminuir la facilidad de limpieza de la superficie.

La Figura 2 muestra una batería de tubos de acero galvanizado y la pared en PRFV de un equipo en servicio.



Figura 2 Corrosión y ensuciamiento en el interior de los equipos.

El acero galvanizado no es el material constructivo más conveniente para estos equipos, pues es afectado por la corrosión, cuyos subproductos (óxidos) pueden servir de alimento para las bacterias al disolverse en el agua. Esta situación será aprovechada tanto por amebas y otros protozoos que sirven como estructuras de refugio y supervivencia de *Legionella* [4], como por la propia bacteria. Así pues, este tipo de acero presenta la desventaja de no resistir la acción del agua que circula por los equipos, fundamentalmente, porque está tratada con cloro para prevenir el desarrollo de *Legionella* y otros productos más o menos agresivos.

El cloro libre residual que se ha medido en las aguas de los equipos (tratados con dosificación continua de desinfectantes), ha sido en ocasiones superior a 15 ppm, mostrando un valor medio en el estudio de 6 ppm. Esta problemática química se une a la presencia de cloruros en la disolución (Figura 3) que aumentan el efecto corrosivo sobre los materiales metálicos.

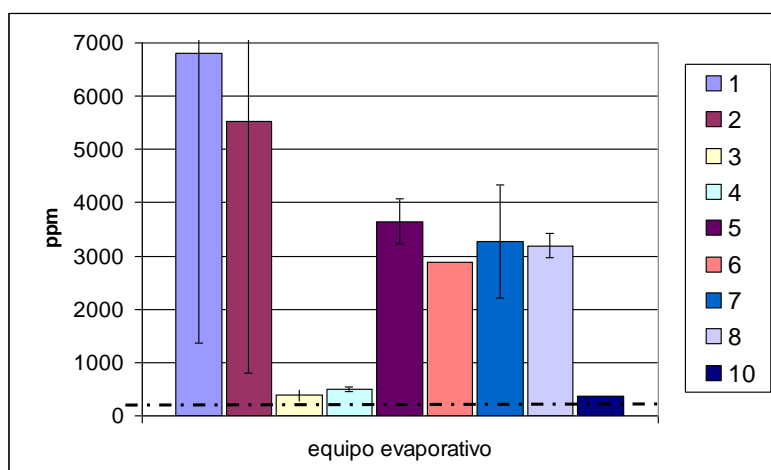


Figura 3 Valor medio de los cloruros presentes en el agua de cada uno de los equipos. La línea discontinua indica el nivel máximo aconsejado por los fabricantes y las barras de error la desviación estándar.

Concentraciones de cloruros superiores a 100 ppm pueden causar problemas de corrosión crecientes, mientras que concentraciones de iones cloruro de 1000 ppm provocan rápidamente la destrucción por corrosión de metales como el hierro y el acero inoxidable.

En las instalaciones muestreadas se pone claramente de manifiesto la ineficacia de los métodos de desinfección en el control de la carga microbiana contaminante del agua de proceso.

La Figura 4 muestra el valor promedio del recuento total de microorganismos aerobios presentes en el agua de las instalaciones a lo largo del estudio. Estos análisis se realizaron antes y después de limpiar los equipos los cuales estaban sometidos a tratamientos preventivos con dosificación de biocidas en continuo.

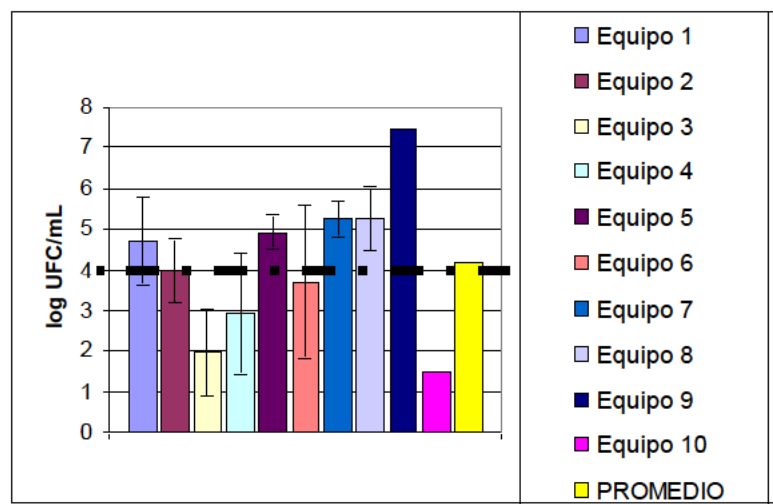


Figura 4 Recuentos de microorganismos aerobios mesófilos en enfriadores evaporativos (torres de enfriamiento y condensadores evaporativos). La línea de trazos discontinuos indica el nivel máximo permitido por la legislación y las barras de error la desviación estándar.

El 50% de los equipos muestreados nunca ha llegado a presentar unos recuentos recomendables de aerobios a lo largo de todo el estudio, superándose en la mayoría de los análisis el nivel máximo aconsejado de 10^4 UFC/mL. La limpieza de los aparatos no ha afectado eficazmente a la eliminación de microorganismos, ya que los recuentos de aerobios han aumentado después de la misma en el 56% de los casos analizados.

Legionella pneumophila se ha detectado en algunas de las instalaciones, lo que se ha visto asociado, en todos los casos, a la presencia de amebas o de otros protozoos que pueden ser simbioses con la bacteria [10]. Además se ha detectado la presencia de algas que pueden promover el crecimiento de *Legionella* [7].

Queda claro, por tanto, la ineficacia de los sistemas de limpieza y desinfección utilizados para combatir la *Legionella*. Estos métodos, si se realizan de forma incorrecta, pueden hacer incluso que aumente la concentración de *Legionella* en el agua debido a que los biofilms no son eliminados completamente [6], haciéndose más bien una especie de removido de los mismos, que provoca un aumento del recuento microbiano. La razón de esta ineficacia es que la limpieza se hace de forma manual y con una frecuencia absolutamente inadecuada para el nivel de suciedad que se acumula entre limpiezas.

Para solucionar los problemas de la corrosión, incrustaciones, suciedad, y contaminación microbiana de las torres de enfriamiento y condensadores evaporativos se ha desarrollado en nuestro laboratorio un nuevo diseño, que se ha patentado, para enfriadores evaporativos (Figura 5) que además de contar con un diseño higiénico en cada uno de sus componentes, incorpora un sistema que permite realizar la limpieza y la desinfección de forma automática, sin necesidad de desmontar ningún componente del equipo.

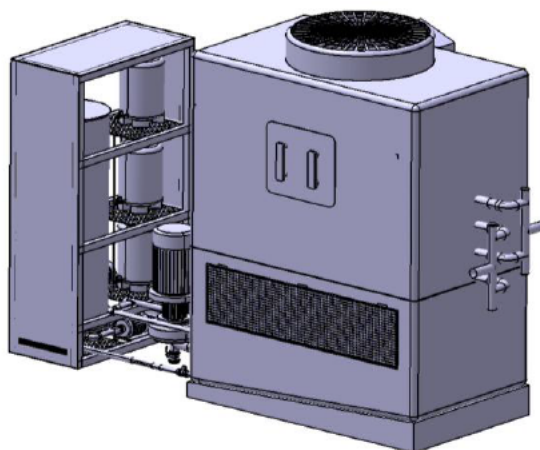


Figura 5 Prototipo desarrollado de enfriador evaporativo higiénico y automático.

El condensador evaporativo y torre de enfriamiento desarrollados en nuestro laboratorio se limpian con un sistema de limpieza in situ CIP (sin desmontar) que, a través de un circuito de tuberías y boquillas aspersoras, aplica soluciones de limpieza convenientemente dosificadas desde tanques de formulación hasta las superficies internas del equipo. Esta limpieza se realiza con una frecuencia adecuada, sin desmontar los componentes, y llegando a todos los lugares necesarios para evitar un crecimiento microbiano que pueda ser peligroso.

Los resultados obtenidos en los test de limpiabilidad demostraron la eficacia de este nuevo diseño disminuyendo la carga microbiana tanto en las superficies como en el agua de enfriamiento.

4 Conclusiones

Las torres de enfriamiento y los condensadores evaporativos actuales no presentan un diseño higiénico adecuado, siendo en gran medida la causa de la ineficacia de los métodos de limpieza utilizados, que además se llevan a cabo a través de métodos manuales que no son lo suficientemente exhaustivos como para eliminar el gran ensuciamiento por fangos, lodos, incrustaciones, biofilms y otras materias extrañas, que acaban por propiciar un adecuado nicho ecológico para *Legionella*.

Los recuentos de aerobios mesófilos han superado 10^4 UFC/mL en el 75% de los análisis realizados. No obstante, no se ha encontrado una clara correlación entre la presencia de *Legionella* y el número de aerobios mesófilos.

Los análisis mostraron que a pesar de que todas las instalaciones estaban sometidas a un tratamiento preventivo de desinfección y limpieza contra *Legionella*, era muy probable la aparición de casos de presencia de *Legionella pneumophila*.

5 Referencias

- [1] Asther, M., Bellon-Fontaine, M., Capdevila, C., Corrieu, G. A thermodynamic model to predict *Phanerochaete chrysosporium* INA-12 adhesion to various solid carriers in relation to lignin peroxidase production. *Biotechnology and Bioengineering* 35 (5), p.477-482, 1990.
- [2] EHEDG. *A method for the assessment of in-place cleanability of food processing equipment*, Document 23. European Hygienic Engineering and Design Group. July, 2000.
- [3] EHEDG. *Hygienic design of closed equipment for the processing of liquid food*, Document 10. European Hygienic Engineering and Design Group. November, 1993.
- [4] Fliermanns, C.B., Chery, W.B., Orrison, L.H., Smith, S.J., Tison, D.L., Pope, D.H. Ecological distribution of *Legionella pneumophila*. *Appl. Environ. Microbiol.* 41, p.9-16, 1981.
- [5] Fux C.A., Costerton J.W., Stewart P.S., Stoodley P. Survival strategies of infectious biofilms. *Trends in Microbiology* 13 (1) p.37-40, 2005.
- [6] Kramer, M.H., Ford, T.E., Legionellosis: ecological factors of an environmentally 'new' disease. *Zentralbl Hyg Umweltmed.* 195 (5-6), p.470-482, 1994.
- [7] Lee, J.V., West, A.A., Survival and growth of *Legionella* species in the environment. *Soc Appl Bacteriol Symp Ser.* 20, p.1215-1295, 1991.
- [8] Piao, Z., Sze, C. C., Barysheva, O., Lida, K., Yoshida, S. Temperature-Regulated Formation of Mycelial Mat-Like Biofilms by *Legionella pneumophila*. *Applied and Environmental Microbiology*, 72 (2), p.1613-1622, 2006.
- [9] Van der Kooija, D., Veenendaal, H. R., Scheffer, W. J. H., Biofilm formation and multiplication of *Legionella* in a model warm water system with pipes of copper, stainless steel and cross-linked polyethylene. *Water Research*, 39 (13), p.2789-2798, 2005.
- [10] Vandenesch, F., Surgot, M., Bornstein, N., Paucod, J.C., Marmet, D., Isoard, P., Fleurette, J., Relationship between free amoeba and *Legionella*: studies in vitro and in vivo. *Zentralbl Bakteriol.* 272 (3), p.265-275, 1990.

(12) SOLICITUD INTERNACIONAL PUBLICADA EN VIRTUD DEL TRATADO DE COOPERACIÓN
EN MATERIA DE PATENTES (PCT)

(19) Organización Mundial de la Propiedad

Intelectual
Oficina internacional



(43) Fecha de publicación internacional
29 de Noviembre de 2007 (29.11.2007)

PCT

(10) Número de Publicación Internacional
WO 2007/135219 A1

(51) Clasificación Internacional de Patentes:

F28G 9/00 (2006.01) F28D 5/02 (2006.01)
F28C 1/00 (2006.01)

(21) Número de la solicitud internacional:

PCT/ES2007/070095

(22) Fecha de presentación internacional:

18 de Mayo de 2007 (18.05.2007)

(25) Idioma de presentación:

español

(26) Idioma de publicación:

español

(30) Datos relativos a la prioridad:

P 200601285 18 de Mayo de 2006 (18.05.2006) ES

(71) Solicitante (para todos los Estados designados salvo US):
REFRIGERACIÓN INDUSTRIAL ZAMORA, S.L.
[ES/ES]; C/ Mayor 118, E-30833 Sangonera La Verde (ES).

(72) Inventores; e

(75) Inventores/Solicitantes (para US solamente): **LOPEZ GOMEZ, Antonio** [ES/ES]; C/ Mayor 118, E-30833

Sangonera La Verde (ES). **PALOP GÓMEZ, Alfredo** [ES/ES]; C/ Mayor 118, E-30833 Sangonera La Verde (ES). **HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, María Esther** [ES/ES]; C/ Mayor 118, E-30833 Sangonera La Verde (ES). **CASTAÑO VILLAR, Antonio Manuel** [ES/ES]; C/ Mayor 118, E-30833 Sangonera La Verde (ES).

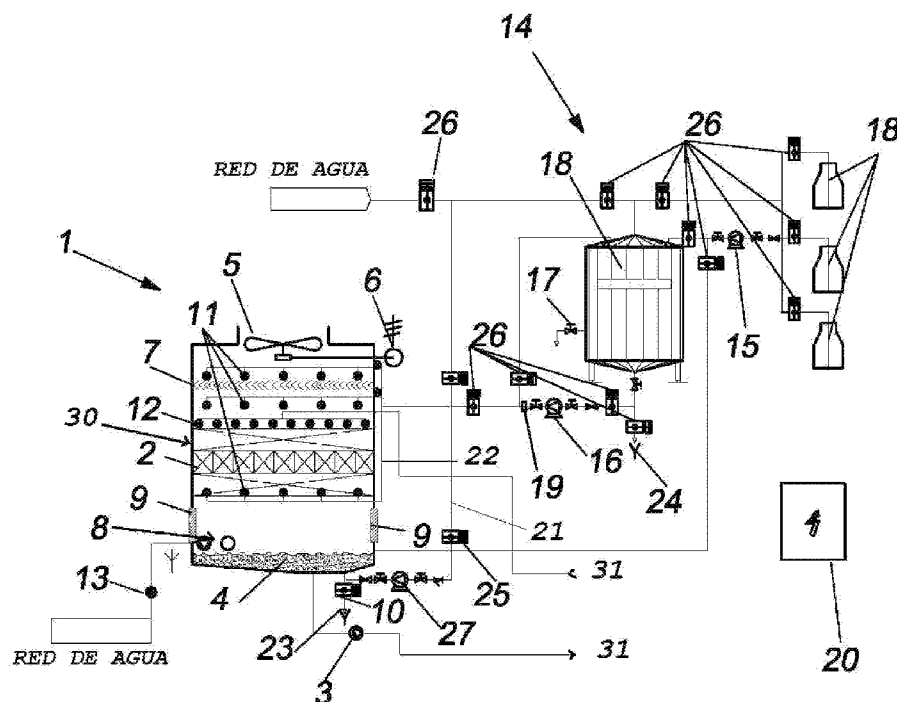
(74) Mandatario: **PONS ARIÑO, Angel**; Glorieta Ruben Dario 4, E-28010 Madrid (ES).

(81) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección nacional admisible): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[Continúa en la página siguiente]

(54) Title: AUTOMATIC HYGIENIC EVAPORATIVE COOLER

(54) Título: ENFRIADOR EVAPORATIVO HIGIÉNICO Y AUTOMÁTICO



(57) Abstract: The present invention relates in general to the field of cooling installations given that it proposes an evaporative cooler incorporating improvements to the energy performance of the cooling system. Furthermore the present invention relates to the field of cleaning and disinfection of equipment given that said evaporative cooler is of a hygienic design and has an automatic cleaning and disinfection system, ensuring appropriate levels of hygiene and disinfection.

[Continúa en la página siguiente]

WO 2007/135219 A1



(84) Estados designados (a menos que se indique otra cosa, para toda clase de protección regional admisible): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), euroasiática (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europea (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF,

CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Publicada:

— con informe de búsqueda internacional

Para códigos de dos letras y otras abreviaturas, véase la sección "Guidance Notes on Codes and Abbreviations" que aparece al principio de cada número regular de la Gaceta del PCT.

(57) **Resumen:** Esta invención se refiere, en general, al campo de la tecnología de las instalaciones de refrigeración, ya que propone un enfriador evaporativo que incorpora unas mejoras del comportamiento energético del sistema de refrigeración. Además, esta invención se refiere al campo de la tecnología de la limpieza y desinfección de equipos, puesto que el enfriador evaporativo presenta un diseño higiénico y tiene un sistema automático de limpieza y desinfección que asegura unos niveles adecuados de higiene y desinfección.

ENFRIADOR EVAPORATIVO HIGIÉNICO Y AUTOMÁTICO**DESCRIPCIÓN**

5

OBJETO DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un enfriador evaporativo y, de manera más específica, a un
10 intercambiador de calor, como una torre de refrigeración de circuito cerrado o un condensador evaporativo, que tiene un diseño higiénico.

La invención cumple, tanto en su arquitectura como
15 en sus componentes, las normas básicas de diseño higiénico de equipos para el procesamiento de alimentos en estado líquido. También incorpora un sistema automático de limpieza y desinfección denominado CIP, (en inglés, "Limpieza Sin Desmontar"), que realiza la
20 limpieza y la desinfección de manera automática y sin necesidad de desmontar el enfriador evaporativo, que actúa de manera programada y con una frecuencia adecuada para asegurar unas condiciones higiénicas satisfactorias y un control seguro de la contaminación
25 por *Legionella*, puesto que presenta además un control automático de los tratamientos de desinfección.

Las innovaciones que incorpora este enfriador evaporativo son las siguientes:

30

- (i) Posee un diseño acorde con los principios del diseño higiénico de equipos para procesamiento de alimentos en estado líquido, que asegura una limpieza y
35 desinfección adecuados, ya que el sistema

de desinfección y limpieza puede acceder a todas las zonas internas del enfriador evaporativo.

- 5 (ii) Incorpora un sistema automático de limpieza y desinfección que funciona sin necesidad de desmontar ninguna pieza del equipo, lo que asegura la correcta limpieza y desinfección y un control total de la contaminación por *Legionella*.
- 10 (iii) Dispone de un relleno higiénico e innovador (cuando el enfriador evaporativo es una torre de refrigeración), que facilita la limpieza y desinfección y que tiene un buen
- 15 rendimiento térmico.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

20 Tal como se indica en la Solicitud de Patente Española P200601285 y en otras fuentes bibliográficas, la enfermedad del legionario se identificó por primera vez en 1976. Diez años después comenzó la colaboración a nivel europeo a través del Grupo de Trabajo Europeo

25 para Infecciones por *Legionella* (EWGLI), considerando esta enfermedad como grave, sobre todo por la alarma social que produce y por la movilización de medios médicos que provoca. Aunque su incidencia es solo de 1.0 a 30.0 casos por millón de personas (hay autores

30 que aseguran que esta cifra puede ser 20 veces superior, porque se estima que se notifican oficialmente menos del 5% de los casos que realmente se presentan). Al parecer, provoca entre el 2 y el 16% de los casos de neumonía que se presentan en la población.

35 El número de casos de Legionelosis asociados a viajes ha aumentado de menos de 100 en 1987 a más de 600 en

2004 en Europa, siendo el verano el periodo de mayor incidencia.

En efecto, la enfermedad del legionario es una
5 enfermedad grave que se produce por la inhalación de la bacteria *Legionella pneumophila* u otras especies de *Legionella*.

Esta bacteria puede aparecer en instalaciones de
10 agua potable domésticas, de hoteles, hospitales, y en algunos componentes de instalaciones frigoríficas industriales y de acondicionamiento de aire, como torres de refrigeración y condensadores evaporativos (enfriadores evaporativos). Se encuentra de forma
15 natural en los ríos y lagos, aunque normalmente en concentraciones muy bajas. De esta fuente natural puede pasar a las tuberías de agua de las ciudades, y de ahí a edificios de viviendas, oficinas, hoteles, hospitales, industrias, fuentes públicas, etc., donde
20 puede proliferar si las condiciones son adecuadas.

Este microorganismo no se multiplica a temperaturas inferiores a 20°C, pero sí en el rango 20°C - 50°C, y no sobrevive a temperaturas superiores a
25 60°C. Este microorganismo requiere múltiples nutrientes para multiplicarse, siendo la fuente de esos nutrientes el agua sucia donde también proliferan algas, protozoos, amebas y otras bacterias. La presencia de sedimentos, lodos, cal, y otros materiales, junto con
30 los biofilms, juega un importante papel en su protección y proporciona condiciones favorables para el crecimiento de este microorganismo, tal como indican R. Murga, T.S. Forster, E. Brown, J.M. Pruckler, B.S. Fields, y R. M. Donlan, en su artículo titulado "Papel
35 de los biofilms en la supervivencia de la *Legionella pneumophila* en un modelo de sistema de agua potable",

publicado en 2001, en la revista Microbiología (nº 147, páginas 3121 a 3126).

La enfermedad del legionario se transmite
5 normalmente a través del sistema respiratorio,
inhalandos aire que contiene bacterias de *Legionella* en
forma de aerosol, que se forma, por ejemplo, a partir
de pequeñas gotas de agua que se generan cuando se
rocía agua, cuando se producen burbujas de aire en agua
10 o cuando impacta una corriente de agua sobre una
superficie sólida. Cuanto más pequeñas son estas gotas,
más peligrosas son, ya que las gotas de pequeño tamaño
son arrastradas más fácilmente por corrientes de aire
de baja velocidad. Por ello, son focos potenciales de
15 esta enfermedad las torres de refrigeración y los
condensadores evaporativos.

De acuerdo con las conclusiones del Congreso
"Legionella hoy: gestión de la prevención" (Barcelona,
20 España, 5-6 febrero 2004,
www.cresca.upc.es/congreslegionella), la situación que
comporta más peligro es la que se produce cuando se
detiene la instalación de refrigeración o de
acondicionamiento de aire durante días festivos, por
25 ejemplo, y después se pone en marcha la instalación sin
hacer ningún tipo de limpieza y desinfección previa.
Esta operación provoca una gran emisión de aerosol al
aire ambiente exterior, con una gran carga
contaminante. Esto se hace a pesar de que la
30 legislación vigente en la Unión Europea acerca del
control y prevención de la Legionelosis obliga a
limpiar y desinfectar estos componentes antes de poner
en marcha la instalación de refrigeración después de
haber estado parada durante un tiempo. Sin embargo,
35 esta legislación no se cumple, fundamentalmente debido
a que la limpieza de la torre de refrigeración o del

condensador evaporativo hay que hacerla de forma manual cada vez.

En efecto, las aguas estancadas y sucias (como las que hay en una instalación de refrigeración que no se ha limpiado durante cierto tiempo) favorecen la proliferación de esta bacteria. Esta situación se da con bastante frecuencia, sobre todo en instalaciones de refrigeración en mal estado y con un mantenimiento deficiente. De hecho, es frecuente en todo tipo de instalaciones de refrigeración y de acondicionamiento de aire que la limpieza no se lleve a cabo con la frecuencia debida.

Además, es conveniente que los enfriadores evaporativos (torres de refrigeración y condensadores evaporativos) de las instalaciones de refrigeración sean resistentes a la corrosión que puede provocar el uso de biocidas clorados (en concentraciones elevadas), pero la realidad es que las instalaciones no están preparadas para una desinfección estricta y sufren un alto grado de corrosión. Esta situación favorece la generación de huecos y grietas donde se forman biofilms que protegen a esta bacteria frente a los desinfectantes.

25

Según se indica en la Patente US 6,598,862 B2, los enfriadores evaporativos usuales pueden incluir secciones de intercambio de calor directo e indirecto.

Cuando el enfriador evaporativo se usa como condensador evaporativo, se distribuye un líquido evaporativo, generalmente agua, a través de una sección de intercambio de calor indirecto, que generalmente comprende una serie de circuitos o bucles internos individuales para conducir una corriente de fluido que se enfría. A menudo estos circuitos internos son series

de tubos o conjuntos de serpentines que pueden tener sección circular o de otra forma, tales como las divulgadas en la Patente US 4,755,331.

5 Cuando el enfriador evaporativo se utiliza como torre de refrigeración de circuito cerrado o como condensador evaporativo, el calor absorbido por el mencionado líquido evaporativo se transmite directamente a una corriente de aire en un proceso de
10 intercambio directo de calor por evaporación.

 En una torre de refrigeración, dicho proceso de intercambio directo de calor por evaporación tiene lugar sobre una superficie sólida, usualmente
15 denominada relleno, y una pequeña porción del líquido se evapora, enfriando así la porción restante. Este relleno puede comprender láminas de madera, planchas de metal corrugado, pilas de planchas plásticas conformadas, etc.

20 En definitiva, el diseño de los enfriadores evaporativos (torres de refrigeración y condensadores evaporativos) actuales conocidos se caracteriza por su buen comportamiento térmico y energético, pero se pone de manifiesto claramente que se han descuidado en todos
25 los casos los aspectos del diseño higiénico en estos equipos.

 Cada vez que se han de limpiar estas instalaciones se han de desmontar, y esto se tiene que hacer con las
30 instalaciones frigoríficas desconectadas, ya que se tiene que sacar el relleno en el caso de las torres de refrigeración, y en ambos casos ha de acceder personal de limpieza al interior y a la parte superior del equipo. Esta limpieza no se suele hacer bien ni con la
35 debida frecuencia, debido a la necesidad de hacerla manualmente y a que estos equipos no tienen un diseño

higiénico correcto que permita una buena y fácil limpieza.

Los enfriadores evaporativos (torres de refrigeración y condensadores evaporativos) son equipos que se ensucian constantemente. La continua recirculación de agua de pobre calidad, especialmente en el caso de torres de refrigeración, por largos recorridos sobre materiales que son fácilmente atacados por aquella, y la exposición a la contaminación externa del medio ambiente que rodea al equipo y que aporta materias orgánicas e inorgánicas que ensucian el interior, hacen de estos equipos, y especialmente de las torres de refrigeración, un aparato con alto riesgo de contaminación por microorganismos.

En particular, uno de los componentes cuya limpieza es más problemática es el relleno de las torres de refrigeración sobre el que discurre el agua a enfriar. Este relleno no tiene un diseño higiénico adecuado, y esto dificulta enormemente la limpieza y propicia la formación de incrustaciones y biofilms o capas de microorganismos donde puede refugiarse la *Legionella*.

Las innovaciones conocidas propuestas para el control de la *Legionella* se basan principalmente en el uso de antimicrobianos químicos embebidos por adsorción en el material que forma el relleno, tal como describen, por ejemplo, las patentes JP2000290114 y EP1452821 (A1). Sin embargo, dichos antimicrobianos acaban por desaparecer en relativamente poco tiempo, quedando el equipo desprotegido frente a la colonización por parte de las bacterias. Además, el uso de estos agentes activos en el relleno puede promover el desarrollo de cepas bacterianas resistentes a los

biocidas.

Por otro lado, la simple idea (como la desarrollada en la patente WO2005124253 A1) de hacer
5 pasar el agua en la torre de refrigeración a través de un relleno sin producir aerosoles puede reducir bastante la probabilidad de emisión de *Legionella* al exterior. Sin embargo, no evita la aparición y crecimiento del patógeno, que seguirá presente mientras
10 la suciedad persista en las instalaciones y más aún si el relleno no presenta un diseño higiénico, convirtiéndose así en un nicho ecológico perfecto para el desarrollo microbiano. Por ello, en cualquier momento se puede producir el accidente de emisión al
15 exterior de este patógeno, aunque sea con una probabilidad baja.

Por tanto, se demuestra que las deficiencias en el diseño higiénico de los condensadores evaporativos y
20 torres de refrigeración son probablemente una de las causas principales de la proliferación microbiana en general, y de la *Legionella* en particular, en el agua y en las superficies internas del equipo, ya que dificultan enormemente las tareas de limpieza y
25 desinfección.

Esta es la principal motivación de esta invención: resolver el problema del riesgo sanitario que provoca el uso de las torres de refrigeración y condensadores
30 evaporativos actuales, que presentan un diseño higiénico bastante deficiente.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

Para evitar el serio problema sanitario que se puede generar en los enfriadores evaporativos (torres de refrigeración y condensadores evaporativos), provocados por la contaminación, proliferación y probable emisión, a través de aerosoles, del microorganismo patógeno *Legionella pneumophilla*, se propone un diseño de estos equipos completamente higiénico. Sobre esta base, se describe en la presente solicitud de patente un enfriador evaporativo (torre de refrigeración o condensador evaporativo) con un diseño higiénico.

Este enfriador evaporativo incorpora un sistema automático de limpieza y desinfección (que se denomina CIP "limpieza sin desmontar", un sistema automático de limpieza sin necesidad de desmontar el enfriador), que funciona de una forma programada y con la frecuencia adecuada, de forma que se aseguren unas condiciones higiénicas adecuadas. Por tanto, este equipo controla de forma segura la contaminación por *Legionella*, ya que también monitoriza y controla de forma automática los tratamientos de desinfección.

El diseño de un enfriador evaporativo (torre de refrigeración o condensador evaporativo) se considera "higiénico" si incorpora, por motivos de prevención, características que reducen o eliminan el riesgo de que sea una fuente de contaminación para el agua, de una forma directa o indirecta. Para esto tiene que cumplir, entre otros, con los siguientes aspectos de diseño higiénico:

- (i) selección adecuada de los materiales de construcción

- (ii) buen acabado de las superficies que están en contacto con el agua;
- (iii) buen drenaje del equipo - que se tiene que drenar completamente sin dejar restos de soluciones de limpieza ;
- (iv) encuentros redondeados entre las diferentes superficies internas dentro del equipo;
- (v) un cerramiento adecuado del equipo que lo proteja contra la entrada de suciedad del exterior; y
- (vi) un sistema de limpieza y desinfección automático y efectivo que llegue a todos los recovecos internos del equipo, evitando las acumulaciones de suciedad y biofilms.

Las innovaciones que aparecen en esta invención dan lugar a un nuevo enfriador evaporativo (torre de refrigeración o condensador evaporativo) que incorpora toda una serie de mejoras técnicas que lo diferencian claramente de las torres de refrigeración y condensadores evaporativos existentes. Este enfriador evaporativo (torre de refrigeración o condensador evaporativo) novedoso que se describe en el presente documento presenta las siguientes características diferenciadoras:

1. Tiene un diseño absolutamente higiénico que cumple los criterios de diseño higiénico para equipos de procesamiento de alimentos en estado líquido de acuerdo con, por ejemplo, las directrices de diseño higiénico del EHEDG (Grupo Europeo de Ingeniería y Diseño Higiénico, www.ehedg.org). Estas mejoras permiten limpiar y desinfectar los equipos de procesamiento de alimentos en estado líquido de una forma efectiva y automática. Por tanto, este diseño implica la

adaptación directa de estos principios de diseño higiénico de equipos de procesado de alimentos al enfriador evaporativo (torre de refrigeración o condensador evaporativo) objeto de la presente invención, considerando como alimento en estado líquido el agua que circula a través de la torre de refrigeración o condensador evaporativo. Por tanto, se obtiene un enfriador evaporativo con un diseño adecuadamente adaptado desde el punto de vista del diseño higiénico.

2. Incorpora un sistema automático de limpieza y desinfección que asegura la ausencia de crecimiento de microorganismos patógenos como la *Legionella*. La limpieza automática asegura una frecuencia adecuada de limpieza, de forma que no se acumula la suciedad. Actualmente, la limpieza de estas torres de refrigeración y condensadores evaporativos se lleva a cabo manualmente, con una frecuencia muy baja y un alto riesgo de proliferación de *Legionella*. Los sistemas de limpieza automática se denominan técnicamente sistemas CIP ("Limpieza sin desmontar") o unidades CIP, lo que quiere decir una limpieza que no requiere personal ni desmontar el equipo. Estos sistemas CIP se han desarrollado en la industria de los alimentos en estado líquido. Estos sistemas se pueden conectar a cualquier equipo, siempre que el equipo tenga un diseño adaptado a esta posibilidad. El enfriador evaporativo (torre de refrigeración o condensador evaporativo) objeto de la presente invención posee dicho diseño adaptado.

3. Tiene un comportamiento térmico óptimo, similar al de las torres de refrigeración o condensadores evaporativos más eficientes conocidos, ya que incorpora un relleno, en el caso

de la torre de refrigeración, que cumple los criterios de diseño higiénico, ya que utiliza superficies de geometría esférica. Además, se consigue una buena transmisión de calor e intercambio de materia entre el agua y el aire, ya que el agua forma una delgada capa que desciende sobre las superficies del relleno.

Este enfriador evaporativo automático e higiénico (torre de refrigeración y condensador evaporativo) se aplica a instalaciones de refrigeración de cualquier tamaño y configuración, pero es de interés especial en aquellas instalaciones de refrigeración que dan servicio a edificios o sistemas que pueden implicar una cierta aglomeración de personas en sus proximidades, como por ejemplo los casos de instalaciones de refrigeración dedicadas a:

(a) aire acondicionado en edificios residenciales, hospitales, hoteles, oficinas, supermercados, edificios comerciales, teatros y edificios de ocio;

(b) o la producción de frío industrial (industrias químicas, industrias agroalimentarias o de otro tipo).

Con este tipo de torre de refrigeración o condensador evaporativo se consigue un alto nivel de seguridad en la prevención de la aparición de la *Legionella*, evitando el riesgo de desarrollo y propagación de la Legionelosis entre personas que puedan respirar partículas líquidas en suspensión provenientes de estas torres de refrigeración o condensadores evaporativos.

Este tipo de torre de refrigeración, que tiene un diseño y funcionamiento con unas condiciones especiales de higiene, permite el uso de agua con una elevada

seguridad higiénica para operaciones de enfriamiento relacionadas con alimentos en estado líquido, túneles de enfriamiento u otros equipos para el procesado de alimentos.

5

El enfriador evaporativo cuenta con al menos un cuerpo que incluye una serie de componentes internos tales como válvulas, separadores de gotas, rejillas de ventanas laterales,..., así como una superficie de intercambio, un sistema de separación de gotas de aire, al menos una balsa inferior definida en la base del cuerpo. Otros elementos o sistemas del enfriador evaporativo que se describen en detalle en el siguiente apartado son preferentemente externos o penetran parcialmente en el cuerpo del enfriador.

Tal y como se ha descrito anteriormente el enfriador evaporativo puede incorporar uno o más cuerpos de torres de refrigeración o uno o más cuerpos de condensadores evaporativos. Asimismo se contempla la posibilidad de que el enfriador evaporativo incorpore una combinación de cuerpos de torres de refrigeración y condensadores evaporativos.

25

DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Para complementar la descripción que se está realizando y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo preferente de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de dicha descripción, un juego de dibujos en donde con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

35

La Figura 1 muestra una vista del conjunto que constituye el enfriador evaporativo (torre de refrigeración o condensador evaporativo) con el sistema CIP automático conectado para la limpieza y desinfección.

La Figura 2 designa con números de referencia sobre un diagrama esquemático los componentes más significativos del conjunto formado por el enfriador evaporativo, como una torre de refrigeración, y el sistema CIP automático conectado para la limpieza y desinfección.

La Figura 3 designa con números de referencia sobre un diagrama esquemático los componentes más significativos del conjunto formado por el enfriador evaporativo, como un condensador evaporativo, y el sistema CIP automático conectado para la limpieza y desinfección.

En la Figura 4 se representan los componentes del sistema CIP automático para la limpieza y desinfección del enfriador evaporativo (torre de refrigeración o condensador evaporativo) objeto de la presente invención.

En las Figuras 5 y 6 se representan algunos componentes del sistema CIP automático para la limpieza y desinfección del enfriador evaporativo (torre de refrigeración o condensador evaporativo) objeto de la presente invención.

En la Figura 7 se muestra la nueva geometría de las superficies esféricas utilizadas para el relleno, como un ejemplo no limitante de realización. Este relleno se puede incorporar al enfriador evaporativo,

como una torre de refrigeración, objeto de la presente invención.

La Figura 8 muestra cómo sería el flujo de agua a
5 través de las filas verticales de las superficies
esféricas del relleno del enfriador evaporativo, como
una torre de refrigeración, objeto de la presente
invención.

10

REALIZACIÓN PREFERENTE DE LA INVENCION

Las Figuras 2 a 8 muestran en detalle los
componentes de esta torre de refrigeración y
15 condensador evaporativo automáticos e higiénicos. El
enfriador evaporativo (1, 1') comprende un conjunto de
dos sistemas interconectados: la propia torre de
refrigeración (1), que se muestra en la Figura 2, o el
condensador evaporativo (1'), que se muestra en la
20 Figura 3, y el sistema automático de limpieza y
desinfección (14), que se muestra en las Figuras 4, 5 y
6.

El enfriador evaporativo (1) (torre de
25 refrigeración o condensador evaporativo) está formado
por los siguientes componentes: un cuerpo (30), en el
interior del cual se encuentra una superficie de
intercambio (2, 2') que puede consistir en un relleno
(2) (en el caso de la torre de refrigeración) o en un
30 intercambiador (2') (en el caso del condensador
evaporativo), sobre el cual el agua se distribuye
uniformemente para obtener una superficie de contacto
óptima entre el aire y el agua, de forma que se
produzca un nivel de evaporación adecuado que
35 proporcione un comportamiento térmico adecuado; bomba
de agua (3), que impulsa el agua en dirección a unas

boquillas (12) de rociado de agua, a través de un condensador (31) de la instalación de refrigeración en el caso de que el enfriador evaporativo consista en una torre de refrigeración; una balsa inferior (4) situada en la base del cuerpo (30) para acumular el agua enfriada que se recircula y se aplica sobre el intercambiador de calor (2'), dotada de un sistema de alimentación de agua y un control de nivel constante (8), que estará conectado a la red de alimentación de agua (13), y que tendrá una válvula de drenaje (10); ventilador (5), accionado mediante un motor eléctrico (6), para provocar el flujo ascendente de un volumen de aire apropiado a través del relleno (2) o del intercambiador (2') y que entra a través de las ventanas (9), y que sigue un flujo a contracorriente con relación al agua que se rocía sobre el relleno (2) o el intercambiador (2'); eliminador de gotas o separador de gotas (7), situado entre el relleno (2) o el intercambiador (2') y el ventilador (5) para evitar el arrastre excesivo de gotas de agua por el aire que atraviesa la torre de refrigeración o condensador evaporativo.

Además, este enfriador evaporativo (torre de refrigeración o condensador evaporativo) higiénico y automático tiene una red de boquillas (11) de rociado y aplicación de soluciones de limpieza y desinfección, que estará situada por encima y por debajo del separador de gotas (7), y por encima del relleno (2) (o intercambiador (2')), entre el relleno (2) (o intercambiador (2')), y bajo el relleno (2) (o intercambiador (2')).

Esta red de boquillas de rociado (11) para aplicar las soluciones de limpieza y desinfección estará conectada a la tubería de impulsión (22) procedente del

sistema CIP automático (14).

La unidad CIP de limpieza y desinfección (14) conectada al enfriador evaporativo, sea torre de refrigeración o condensador evaporativo, (ver Figuras 4, 5 y 6) tiene los siguientes componentes: tanques (18) para preparar y almacenar las soluciones de agentes ácidos y alcalinos de limpieza y la solución desinfectante; una tubería de impulsión (22) para enviar dichas soluciones en dirección a la red de boquillas (11) de rociado; una red (21) de retorno, para devolver dichas soluciones de limpieza desde una bomba de recirculación (27); una red de tubos (24) para el drenaje de los tanques (18); una red de tuberías (23) para el drenaje de las soluciones de limpieza; una bomba de impulsión (16) para la impulsión de las soluciones de limpieza y desinfección a través del filtro (19), que limpia las soluciones de limpieza de forma que las boquillas (11) de rociado no se obstruyan; un sistema de toma de muestras (17) para la verificación periódica de la concentración de las soluciones de limpieza y solución desinfectante; una bomba de dosificación (15) para añadir a los tanques (18) soluciones concentradas de agentes de limpieza y desinfección.

El enfriador evaporativo (1) (torre de refrigeración o condensador evaporativo) junto con la unidad CIP (14) conectada al mismo se controla desde el centro de comando y control (20), que incluye un controlador PLC (Dispositivo Lógico Programable) o similar, que determina el momento en que las válvulas automáticas, como las que designan los números de referencia (25) y (26), se abren o se cierran, el momento en el que arrancan las bombas de impulsión y de retorno, como las que designan los números de

referencia (16) y (27), y el momento en el que arranca y para el motor (6) que mueve el ventilador (5).

Los detalles constructivos relativos al diseño
5 higiénico de este enfriador evaporativo (torre de refrigeración o condensador evaporativo), deben cumplir las características de diseño higiénico de los equipos de procesado de alimentos que se especifican, por ejemplo, en los documentos 8, 10 y 17 del EHEDG
10 (Criterios de diseño de equipamiento higiénico), Segunda Edición, abril 2004, Chipping Campden, ISBN: 0907503136, doc. 8; EHEDG: Diseño higiénico de equipamiento cerrado para el procesado de alimentos en estado líquido, noviembre 1993, Chipping Campden, doc.
15 10; EHEDG: Un método para la valoración de posibilidad de limpieza sin desmontar de equipamiento de procesado de alimentos, 3ª Edición, julio 2004, Chipping Campden, ISBN: 0907503179, doc. 2; EHEDG: Diseño higiénico de bombas, homogeneizadores y dispositivos amortiguadores,
20 2ª Edición, septiembre 2004, Chipping Campden, ISBN: 0907503187, doc. 17, EHEDG), principalmente relacionados con:

(a) buenos niveles de acabado o pulido de
25 superficies, por ejemplo del tipo 2B, de los componentes internos del enfriador evaporativo (cerramiento lateral, fondo y techo, elementos de soporte de los componentes, flotador, válvulas, separador de gotas, relleno e intercambiador, rejillas
30 de las ventanas laterales de entrada de aire, y la parte inferior del ventilador);

(b) encuentros redondeados entre las paredes laterales y las bases del interior del enfriador evaporativo;

35 (c) relleno con una geometría de superficies redondeadas que facilita su limpieza y desinfección;

(d) bomba de agua de tipo sanitario;

(e) boquillas de rociado para la distribución de agua fáciles de limpiar y desinfectar.

5 En las Figuras 7 y 8 se muestra un detalle de
conjuntos de relleno (2) que incorpora esta realización
no limitativa de la torre de refrigeración (como tipo
de enfriador evaporativo) objeto de la presente
invención, donde se puede ver un ejemplo de superficies
10 con geometrías esféricas (28) y cómo el agua (29) se
distribuye sobre dichas superficies esféricas (28) y
las cubre totalmente, así como las soluciones de
limpieza. Esta solución de geometrías esféricas que
conforma el relleno (2) permite, por tanto, una
15 limpieza adecuada de las superficies de relleno que
evita la formación de capas de cal y biofilms de
microorganismos que podrían dar lugar a contaminación
por *Legionella*.

20

25

30

35

REIVINDICACIONES

- 1.- Enfriador evaporativo (1, 1') que comprende:
al menos un cuerpo (30) que dispone de encuentros
5 redondeados entre sus paredes laterales y sus fondos interiores,
unos componentes internos al citado cuerpo con unos buenos acabados de sus superficies, a nivel de pulido, que muestran asimismo sus encuentros
10 redondeados,
una superficie de intercambio (2, 2') interior al cuerpo (30) con una geometría que facilita su limpieza y desinfección,
al menos un sistema de rociado de agua sobre el
15 interior de los componentes internos que incluye unas boquillas de rociado (12) para distribución de agua, fáciles de limpiar y desinfectar, que aseguran una buena distribución del agua para cubrir toda la superficie de intercambio (2, 2'),
20 un sistema de separación de gotas del aire, de diseño higiénico interno y externo que permite la realización automática de las operaciones de lavado y desinfección, y que incorpora al menos un separador de gotas (7) o eliminador de gotas,
25 al menos una balsa (4) inferior de agua o sumidero situada en la base del cuerpo (30) de diseño higiénico que tienen un fondo inclinado hacia la boca de vaciado que permite el vaciado total de toda el agua que contenga, y también de las soluciones de lavado y
30 desinfección después de las operaciones de limpieza,
un sistema de bombeo que bombea agua desde la balsa (4) hacia las boquillas de rociado (12) que comprende al menos una bomba de recirculación (27) de agua de tipo higiénico o sanitario, preferentemente de
35 tipo centrífugo,
caracterizado porque adicionalmente comprende:

al menos un sistema de limpieza y desinfección (14) que permite efectuar la limpieza y desinfección sin desmontar del enfriador evaporativo para asegurar la no proliferación de microorganismos patógenos como la *Legionella pneumophila*.

2.- Enfriador evaporativo (1, 1') según reivindicación 1 caracterizado porque comprende:

al menos un ventilador (5) para movimiento del aire en el interior del cuerpo (30) del enfriador de tiro inducido o forzado, del tipo axial o centrífugo,

al menos un sistema de reposición del agua evaporada que se adiciona a las balsas (4), que incorpora un sistema automático de control de nivel (8) del agua que se tenga en dichas balsas,

al menos un sistema de distribución y rociado de agua por medio de boquillas de rociado (11) que se proyecta sobre la superficie de intercambio (2, 2'),

al menos una estructura soporte que soporta todos los componentes anteriores que está construida de materiales que son resistentes a la corrosión al contacto con el agua,

al menos una carcasa del cuerpo (30) que encierra y envuelve a todos los componentes anteriormente citados, completamente cerrada, que tiene únicamente los huecos correspondientes a las ventanas (9) y tubos de entradas y salidas, del aire y del agua y las soluciones de desinfección y lavado que se manejan en este enfriador evaporativo,

al menos una bomba de impulsión (16) que dirige el agua hacia los boquillas de rociado (11).

3.- Enfriador evaporativo (1, 1') según reivindicaciones 1 y 2 caracterizado porque la unidad de limpieza (14) se encuentra montada en la misma estructura soporte del enfriador evaporativo.

4.- Enfriador evaporativo (1, 1') según reivindicación 1 caracterizado porque la unidad de limpieza y desinfección (14) comprende al menos un
5 tanque (18), para preparación y recuperación, en su caso, de las soluciones de lavado y desinfección, y de las aguas de enjuagado.

5.- Enfriador evaporativo (1, 1') según
10 reivindicación 1 caracterizado porque la unidad de limpieza y desinfección (14) es externa al cuerpo (30) del enfriador.

6.- Enfriador evaporativo (1, 1') según
15 reivindicación 1 caracterizado porque la unidad de limpieza y desinfección (14) incorpora al menos una bomba de retorno (3) de las soluciones de lavado y desinfección.

20 7.- Enfriador evaporativo (1, 1') según reivindicaciones 2 y 6 caracterizado porque las bombas de impulsión (16) y de retorno (3) coinciden con las bombas de recirculación (27).

25 8.- Enfriador evaporativo (1, 1') según reivindicación 1 caracterizado porque comprende un sistema de control automático (20), para el gobierno de las funciones de limpieza y desinfección de todas las partes del enfriador, que gobierna la puesta en marcha
30 y parada de los distintos motores de ventiladores y bombas, que estarán dotados o no de sistemas de variación o regulación de frecuencia o velocidad, y gobernará la apertura y cierre de todas las válvulas automáticas (25, 26) que tengan los sistemas de
35 limpieza y desinfección.

9.- Enfriador evaporativo (1, 1') según reivindicación 8 caracterizado porque el sistema de control automático (20) es mecánico o electrónico.

5 10.- Enfriador evaporativo (1, 1') según reivindicación 8 caracterizado porque el sistema de control automático (20) incorpora un autómata PLC, o un sistema PLC-PC.

10 11.- Enfriador evaporativo (1, 1') según reivindicación 2 caracterizado porque las boquillas de rociado (11) de soluciones de lavado y desinfección están instaladas sobre el separador de gotas (7),
15 (2, 2') y debajo de esta superficie de intercambio (2, 2').

12.- Enfriador evaporativo (1, 1') según reivindicación 1 caracterizado porque la unidad de
20 limpieza (14) es de funcionamiento automático.

13.- Enfriador evaporativo (1, 1') según reivindicación 12 caracterizado porque la unidad de limpieza (14) incorpora la solución de limpieza y
25 desinfección que es formulada en dicha unidad de limpieza (14).

14.- Enfriador evaporativo (1, 1') según reivindicaciones 4 y 12 caracterizado porque el tanque
30 (18) incorpora la solución de lavado y limpieza que es formulada en dicho tanque (18).

15.- Enfriador evaporativo (1, 1') según reivindicaciones 1 a 14 caracterizado el/los cuerpo/s
35 (30) consisten en el/los cuerpos de un/as torre/s de refrigeración (1) y la superficie de intercambio (2,

2') consiste en un relleno (2).

16.- Enfriador evaporativo (1, 1') según reivindicaciones 1 a 14 caracterizado porque el/los
5 cuerpo/s (30) consisten en el/los cuerpos de un/os condensador/es (1') y la superficie de intercambio (2, 2') consiste en un intercambiador de calor (2').

17.- Enfriador evaporativo (1, 1') según
10 reivindicaciones 1 a 14 caracterizado porque los cuerpos (30) consisten en cuerpos de condensadores (1') y de torres de refrigeración (1).

18.- Enfriador evaporativo (1, 1') según
15 reivindicación 15 caracterizado porque la torre de refrigeración (1) está construida en un material seleccionado entre: plásticos poliméricos, preferiblemente PVC o de acero inoxidable o de acero y
20 otros metales con recubrimientos, resistentes a la corrosión producida por entrar en contacto con el agua del enfriador o con las soluciones de lavado, y/o desinfección, con un diseño y configuración de sus superficies internas adecuadas para el intercambio de
25 calor y masa entre agua y aire para facilitar la limpieza y desinfección de forma automática.

19.- Enfriador evaporativo (1, 1') según reivindicación 16 caracterizado porque el condensador evaporativo (1') está construido en un material
30 metálico, preferiblemente acero inoxidable o de acero y otros metales con recubrimientos, resistentes a la corrosión producida por entrar en contacto con el agua del enfriador o con las soluciones de lavado, y/o desinfección, con un diseño y configuración de sus
35 superficies internas adecuadas para el intercambio de calor y masa entre agua y aire para facilitar la

limpieza y desinfección de forma automática.

20.- Procedimiento de lavado y desinfección del enfriador evaporativo descrito en las reivindicaciones 1 a 14 caracterizado porque antes del comienzo (después de una parada prolongada de más de 24 horas), o antes de una parada prolongada (de más de 24 horas), del funcionamiento del enfriador (1, 1') es automáticamente lavado y desinfectado,

en el que la desinfección se lleva a cabo proyectando o pulverizando en el interior a través de las boquillas de rociado o pulverización (11) una solución desinfectante enviada desde el tanque (18) o desde la unidad de limpieza (14), en el que el desinfectante es periódicamente aplicado sobre la superficie interior del evaporador (1, 1') evitando la formación de una capa de biofilm,

en el que este desinfectante se aplica automáticamente cuando el enfriador (1, 1') ha sido lavado y entre operaciones de lavado aumentando la efectividad de la desinfección, realizándose esta aplicación del desinfectante siempre con los ventiladores (5) parados y con el distribuidor de agua cerrado.

21.- Condensador evaporativo (1') higiénico y automático caracterizado porque comprende:

al menos un intercambiador de calor (2'), que puede ser de tubos, sección circular, sección aplastada o cualquier otra sección, o de placas, con cualquier configuración de las mismas, en cuyo interior se produce la condensación del fluido refrigerante de la instalación frigorífica a la que está conectado este condensador (1'),

al menos un ventilador (5) de movimiento del aire a través del anterior intercambiador de calor (2'), con

disposición y funcionamiento que implique tiro inducido o tiro forzado, estos ventiladores pueden ser del tipo axial o de tipo centrífugo,

al menos, un sistema de rociado de agua sobre el
5 intercambiador de calor (2'), que utiliza boquillas de rociado (12) que aseguran una buena distribución del agua que cubra toda la superficie de intercambio del citado intercambiador de calor (2'),

al menos, un sistema de bombeo del agua que se
10 rocía sobre el anterior intercambiador de calor (2'), incluyendo una o varias bombas de recirculación, tal como de tipo centrífugo,

al menos, una balsa (4) de acumulación del agua recirculada que se bombea y se aplica sobre el
15 intercambiador (2'), estas balsas (4) tendrán un fondo inclinado hacia la boca de vaciado, y una solución de diseño, que permita el drenado total de toda el agua que contengan, y también de las soluciones de lavado y desinfección,

al menos, un sistema de reposición del agua evaporada que se incorporará a las balsas (4)
20 anteriormente citadas, que incorporará un sistema automático de control (8) de nivel del agua que se tenga en dichas balsas,

al menos, un sistema de separación de gotas (7)
25 del aire que sale del condensador evaporativo higiénico y automático, que tendrá un diseño interno y externo que permita la realización automática de las operaciones de lavado y desinfección de los mismos,

al menos, una estructura soporte de todos los
30 componentes anteriores, que estará construida de materiales que, cuando entren en contacto con el agua, sean resistentes a la corrosión,

al menos, un cuerpo (30) que encierra y envuelve a
35 todos los componentes anteriormente citados, completamente cerrado, que tiene únicamente los huecos

correspondientes a las ventanas (9) y tubos de entradas y salidas, del aire y del agua, que se manejan en este condensador evaporativo (1') higiénico y automático.

5 22.- Condensador evaporativo (1') higiénico y automático según la reivindicación 21, caracterizado por incorporar:

al menos un sistema o unidad de limpieza y desinfección (14) de simple tanque (18) o multitanque,
10 para preparación y recuperación, en su caso, de las soluciones de lavado y desinfección, y de las aguas de enjuagado; este sistema o unidad de limpieza y desinfección (14) puede ser interno o externo al condensador evaporativo higiénico y automático (1'); y
15 tendrá, al menos, una bomba (16) de envío, y otra de retorno (3), de las soluciones de lavado y desinfección; estas bombas pueden coincidir, o no, con la que se utiliza en el condensador para enviar el agua de enfriamiento desde la balsa inferior (4) de
20 acumulación hasta la parte superior del intercambiador (2').

al menos, un sistema interno, y específico, de distribución de soluciones de lavado y desinfección que alcance a todas las superficies interiores del
25 condensador evaporativo higiénico y automático, dotado de bolas de lavado o boquillas (11) de distribución o pulverización diferentes de las que se utilizan en la distribución de agua para la función de condensación.

30 23.- Condensador evaporativo higiénico y automático, según las reivindicaciones 21 y 22 caracterizado porque comprende:

un sistema de control automático (20), mecánico o electrónico, con autómatas PLC, o con sistema PLC-PC, o
35 con otro sistema similar, para el gobierno de las funciones de limpieza y desinfección de todas las

partes del condensador evaporativo higiénico y automático, en el que el sistema de control (20) gobierna la puesta en marcha y parada de los distintos motores de ventiladores y bombas, que estarán dotados o
5 no de sistemas de variación o regulación de frecuencia o velocidad, y gobernará la apertura y cierre de todas las válvulas automáticas que tengan los sistemas de limpieza y desinfección, y de distribución de agua sobre el paquete de tubos, y de reposición de la misma
10 en las balsas (4) inferiores de agua, y de drenaje de esta agua.

24.- Condensador evaporativo higiénico y automático, según las reivindicaciones 21 a 23
15 caracterizado por tener, al menos, una bomba de impulsión (16) hacia las boquillas (11) de distribución de las soluciones de limpieza desde la unidad de limpieza y desinfección (14).

20 25.- Condensador evaporativo higiénico y automático, según las reivindicaciones 21 a 23 caracterizado por tener, al menos, una bomba de retorno (3) hacia la unidad de limpieza y desinfección de las soluciones de lavado que es la del condensador
25 evaporativo higiénico y automático, u otra de uso específico de esta unidad, acoplada a la balsa (4) inferior del condensador evaporativo higiénico y automático.

30 26.- Condensador evaporativo higiénico y automático, según las reivindicaciones 21 a 23 caracterizado por tener las boquillas de distribución (11) de soluciones de lavado y desinfección instaladas sobre el separador de gotas (7), debajo de éste y/o
35 sobre el intercambiador de calor (2') de condensación, y debajo del intercambiador de calor (2') de

condensación.

27.- Condensador evaporativo higiénico y automático, según las reivindicaciones 21 a 23
5 caracterizado porque las soluciones de lavado y desinfección se formularán en los depósitos (18) de la unidad de limpieza y desinfección (14) acoplada, y, desde aquí, se enviarán hasta las boquillas de distribución (12) instaladas en el interior del
10 condensador evaporativo higiénico y automático.

28.- Condensador evaporativo higiénico y automático, según las reivindicaciones 21 a 23 caracterizado por estar construido con materiales,
15 plásticos o acero inoxidable o acero y otros metales con recubrimientos, resistentes a la corrosión producida por entrar en contacto con el agua del condensador, o con las soluciones de lavado, y/o desinfección.

20

25

30

35

40

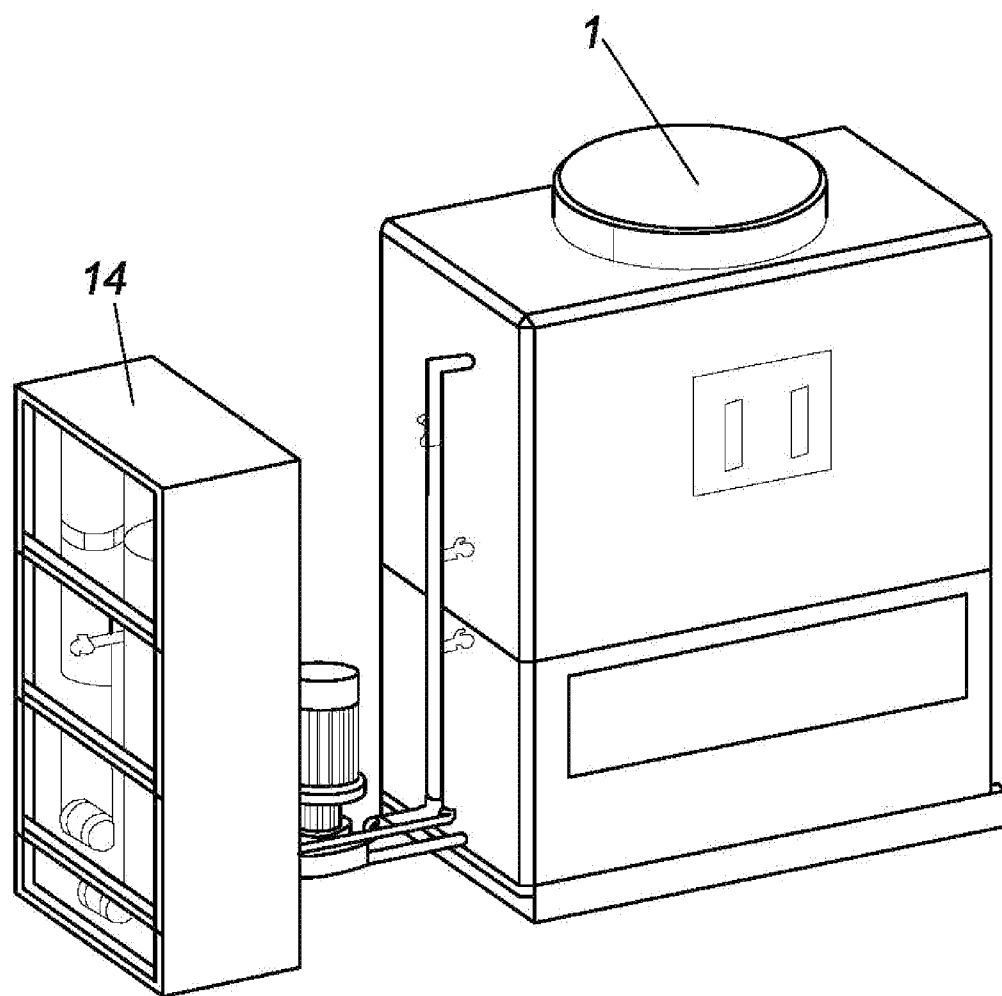


FIG. 1

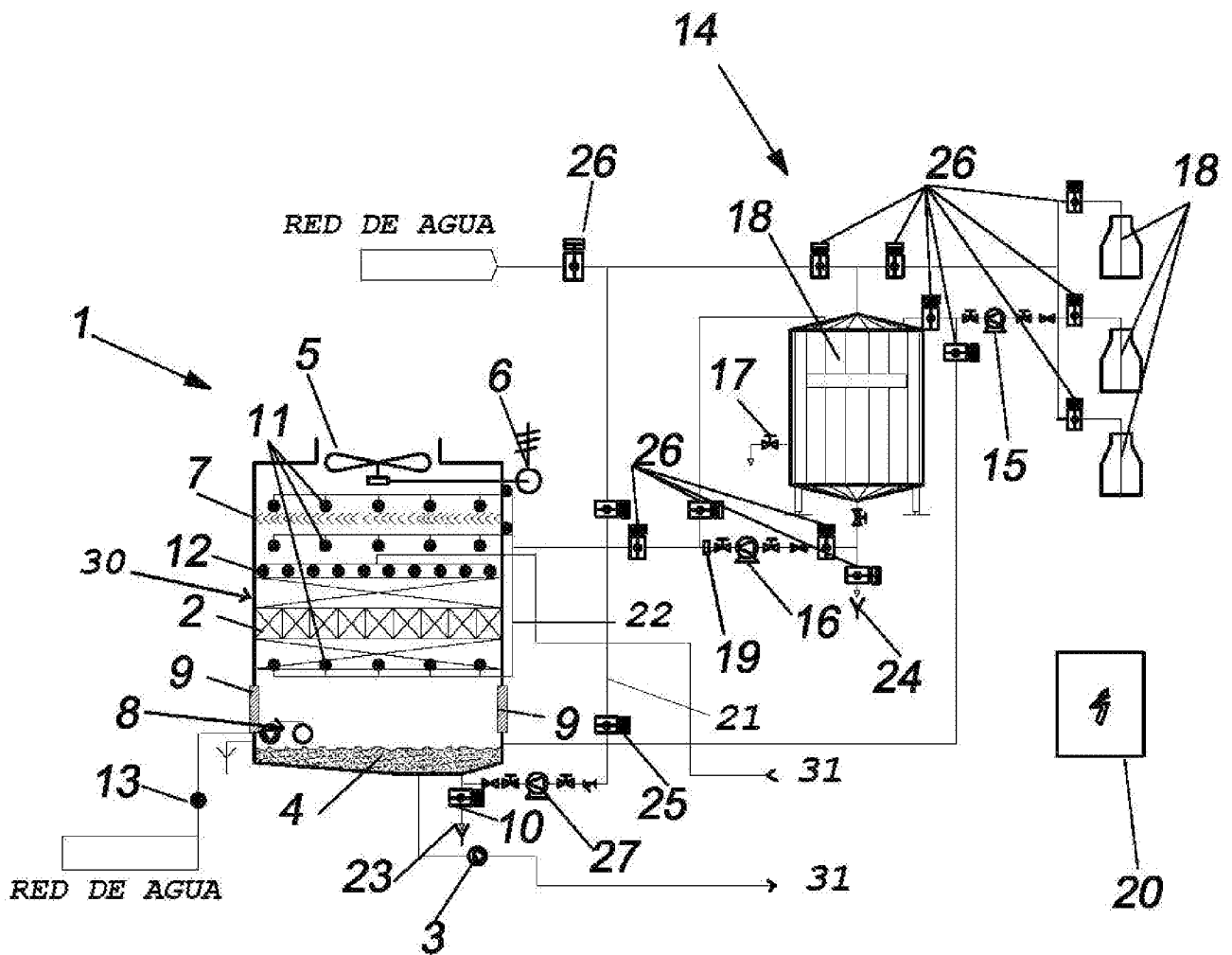


FIG. 2

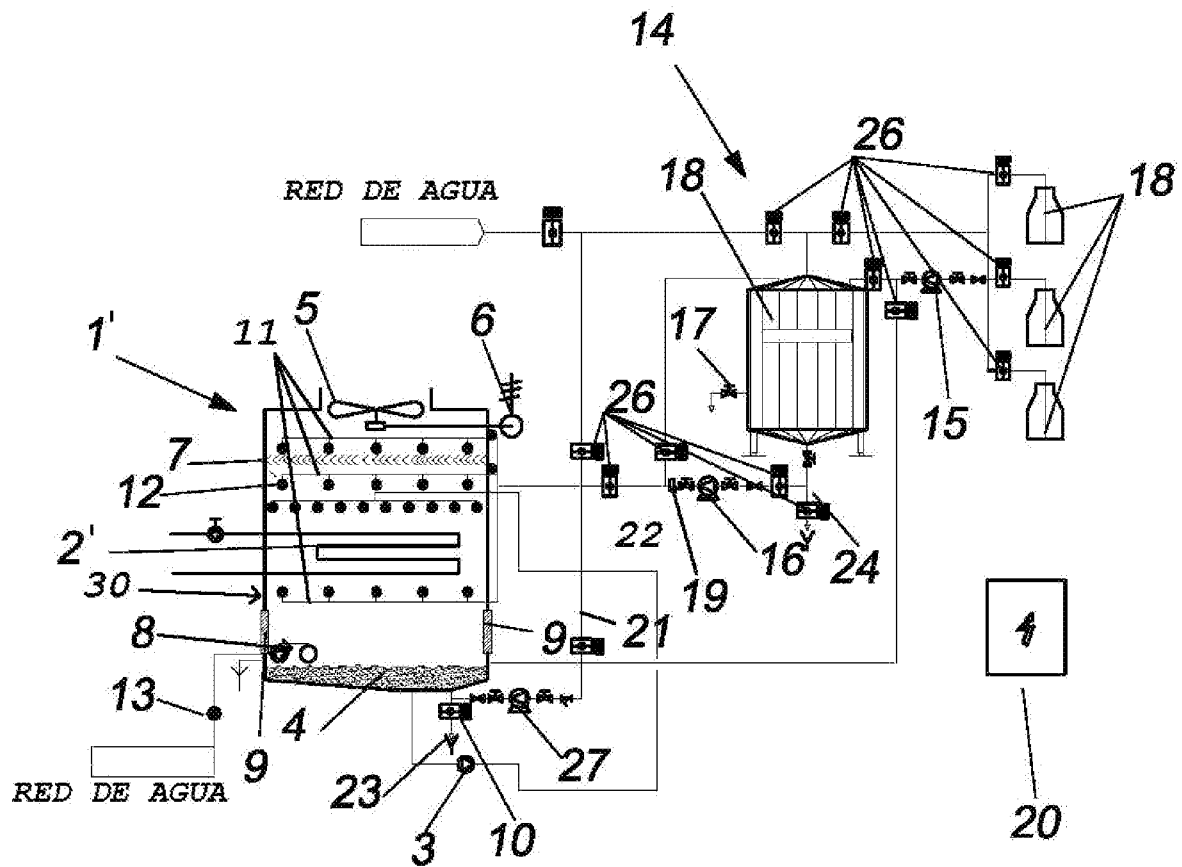


FIG. 3

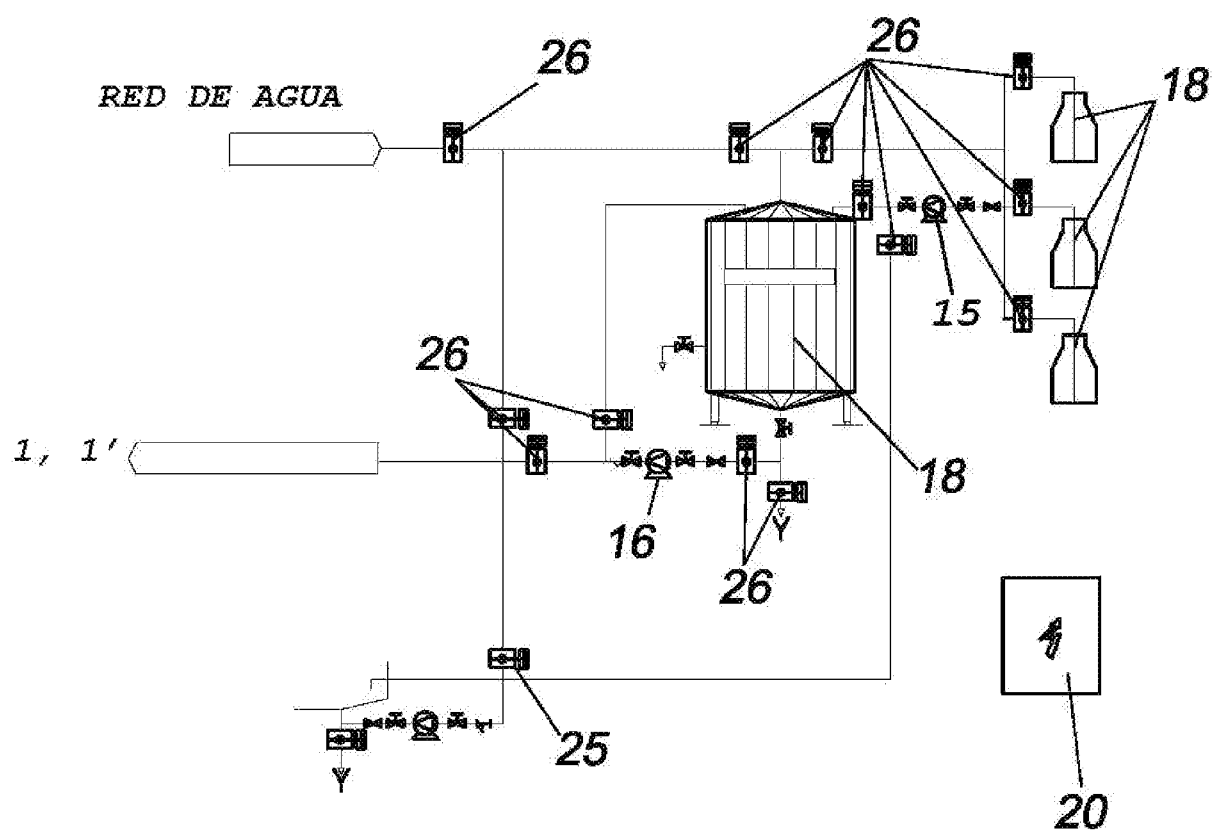


FIG. 4

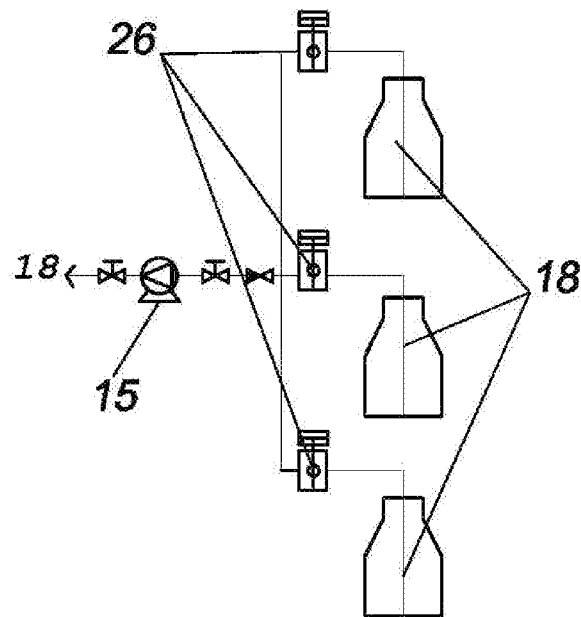


FIG. 6

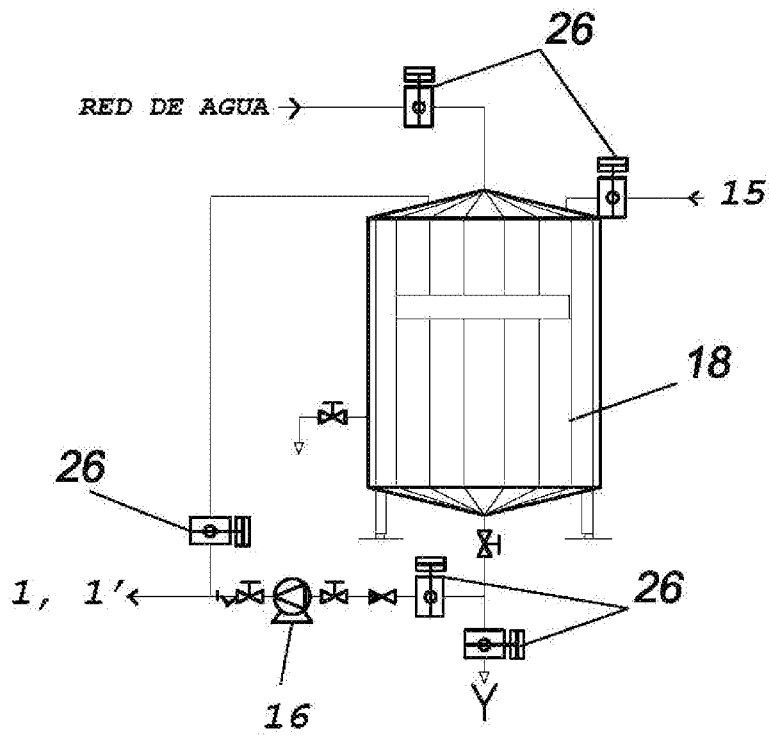
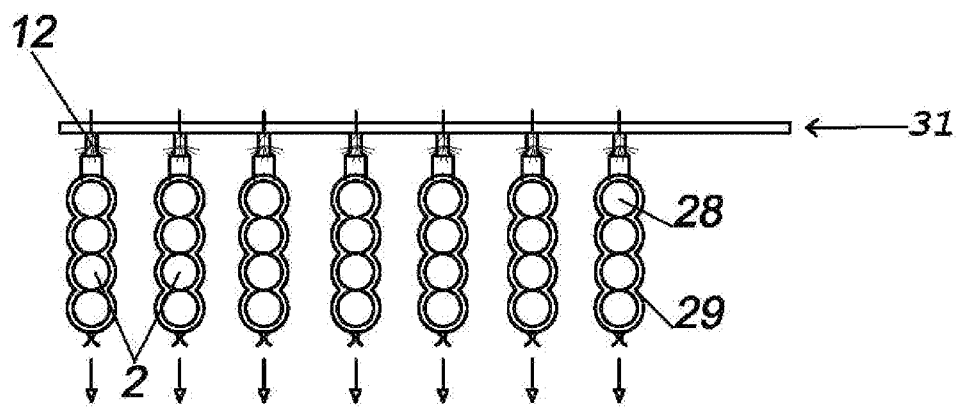
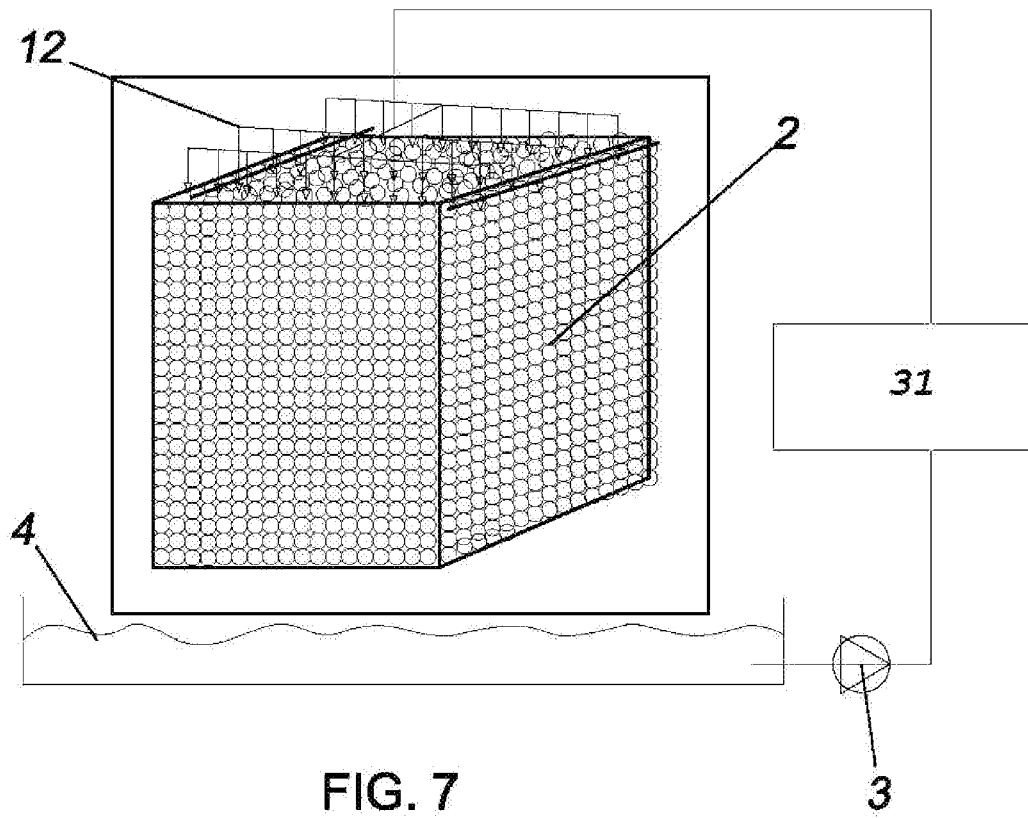


FIG. 5



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ES 2007/070095

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

see extra sheet

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

F28G, F28C1/00, F28D

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

CIBEPAT,EPODOC, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2006112042 A1 (E & CS CO LTD ; KOBAYASHI JYUTARO) 26.10.2006, the whole document.	1-10, 12-25, 27-28
X	WO 03004422 A1 (OZONE MFG PTY LTD ; OKE SIMON) 16.01.2003, page 2, lines 15-25; page 3, lines 20-29; page 9, lines 6-12; figures 1-2.	1-3
A	WO 03045849 A1 (COFFEY JOHN INNES) 05.06.2003, abstract;	1
A	US 4935232 A (MCINTOSH et al.) 19.06.1990, column 5, lines 62-68; column 10, lines 37-42;	1
A	US 4693302 A (DODDS et al.) 15.09.1987, column 2, lines 41-60;	1,18,19

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance.

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure use, exhibition, or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T"

later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y"

document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&"

document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 July 2007 (27.07.2007)

Date of mailing of the international search report

(22/08/2007)

Name and mailing address of the ISA/
O.E.P.M.

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.

Facsimile No. 34 91 3495304

Authorized officer

E. García Lozano

Telephone No. +34 913496863

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/ ES 2007/070095

Patent document cited in the search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2006112042 A	26.10.2006	JP 2006317141 A	24.11.2006
WO 03004422 A	16.01.2003	EP 1414754 A EP 20020742525 JP 2004537399 T US 2004262240 A	06.05.2004 04.07.2002 16.12.2004 30.12.2004
WO 03045849 A	05.06.2003	CA 2468051 A AU 2002342403 A AU 2002342403 B EP 1448480 AB EP 20020779006 JP 2005510353 T US 2005089441 A CN 1617835 A CN 1286744 C NZ 533261 A AT 359237 T DE 60219510 D	05.06.2003 10.06.2003 14.06.2007 25.08.2004 25.11.2002 21.04.2005 28.04.2005 18.05.2005 29.11.2006 23.12.2005 15.05.2007 24.05.2007
US 4935232 A	19.06.1990	PT 81271 AB IE 64537 B IE 852455 L US 4608289 A US 4647601 A US 4753749 A AU 589142 B US 4908209 A US 4996052 A IN 168675 A US 5024840 A US 5032310 A US 5133933 A US 5474739 A	01.11.1985 09.08.1995 09.04.1986 26.08.1986 03.03.1987 28.06.1988 05.10.1989 13.03.1990 26.02.1991 18.05.1991 18.06.1991 16.07.1991 28.07.1992 12.12.1995
US 4693302 A	15.09.1987	US 4842049 A	27.06.1989

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/ ES 2007/070095

CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

F28G 9/00 (2006.01)

F28C 1/00 (2006.01)

F28D 5/02 (2006.01)

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Solicitud internacional nº

PCT/ ES 2007/070095

A. CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

Ver hoja adicional

De acuerdo con la Clasificación Internacional de Patentes (CIP) o según la clasificación nacional y CIP.

B. SECTORES COMPRENDIDOS POR LA BÚSQUEDA

Documentación mínima buscada (sistema de clasificación seguido de los símbolos de clasificación)

F28G, F28C1/00, F28D

Otra documentación consultada, además de la documentación mínima, en la medida en que tales documentos formen parte de los sectores comprendidos por la búsqueda

Bases de datos electrónicas consultadas durante la búsqueda internacional (nombre de la base de datos y, si es posible, términos de búsqueda utilizados)

CIBEPAT,EPODOC, PAJ

C. DOCUMENTOS CONSIDERADOS RELEVANTES

Categoría*	Documentos citados, con indicación, si procede, de las partes relevantes	Relevante para las reivindicaciones nº
X	WO 2006112042 A1 (E & CS CO LTD ; KOBAYASHI JYUTARO) 26.10.2006, todo el documento.	1-10, 12-25, 27-28
X	WO 03004422 A1 (OZONE MFG PTY LTD ; OKE SIMON) 16.01.2003, página 2, líneas 15-25; página 3, líneas 20-29; página 9, líneas 6-12; figuras 1-2.	1-3
A	WO 03045849 A1 (COFFEY JOHN INNES) 05.06.2003, resumen;	1
A	US 4935232 A (MCINTOSH et al.) 19.06.1990, columna 5, líneas 62-68; columna 10, líneas 37-42;	1
A	US 4693302 A (DODDS et al.) 15.09.1987, columna 2, líneas 41-60;	1,18,19

☐ En la continuación del Recuadro C se relacionan otros documentos ☒ Los documentos de familias de patentes se indican en el Anexo

* Categorías especiales de documentos citados:	"T"	documento ulterior publicado con posterioridad a la fecha de presentación internacional o de prioridad que no pertenece al estado de la técnica pertinente pero que se cita por permitir la comprensión del principio o teoría que constituye la base de la invención.
"A" documento que define el estado general de la técnica no considerado como particularmente relevante.	"X"	documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse nueva o que implique una actividad inventiva por referencia al documento aisladamente considerado.
"E" solicitud de patente o patente anterior pero publicada en la fecha de presentación internacional o en fecha posterior.	"Y"	documento particularmente relevante; la invención reivindicada no puede considerarse que implique una actividad inventiva cuando el documento se asocia a otro u otros documentos de la misma naturaleza, cuya combinación resulta evidente para un experto en la materia.
"L" documento que puede plantear dudas sobre una reivindicación de prioridad o que se cita para determinar la fecha de publicación de otra cita o por una razón especial (como la indicada).	"&"	documento que forma parte de la misma familia de patentes.
"O" documento que se refiere a una divulgación oral, a una utilización, a una exposición o a cualquier otro medio.		
"P" documento publicado antes de la fecha de presentación internacional pero con posterioridad a la fecha de prioridad reivindicada.		

Fecha en que se ha concluido efectivamente la búsqueda internacional.

27 Julio 2007 (27.07.2007)

Fecha de expedición del informe de búsqueda internacional

22 de agosto de 2007 (22/08/2007)

Nombre y dirección postal de la Administración encargada de la búsqueda internacional O.E.P.M.

Paseo de la Castellana, 75 28071 Madrid, España.

Nº de fax 34 91 3495304

Funcionario autorizado

E. García Lozano

Nº de teléfono +34 913496863

INFORME DE BÚSQUEDA INTERNACIONAL

Información relativa a miembros de familias de patentes

Solicitud internacional n°

PCT/ES 2007/070095

Documento de patente citado en el informe de búsqueda	Fecha de Publicación	Miembro(s) de la familia de patentes	Fecha de Publicación
WO 2006112042 A	26.10.2006	JP 2006317141 A	24.11.2006
WO 03004422 A	16.01.2003	EP 1414754 A EP 20020742525 JP 2004537399 T US 2004262240 A	06.05.2004 04.07.2002 16.12.2004 30.12.2004
WO 03045849 A	05.06.2003	CA 2468051 A AU 2002342403 A AU 2002342403 B EP 1448480 AB EP 20020779006 JP 2005510353 T US 2005089441 A CN 1617835 A CN 1286744 C NZ 533261 A AT 359237 T DE 60219510 D	05.06.2003 10.06.2003 14.06.2007 25.08.2004 25.11.2002 21.04.2005 28.04.2005 18.05.2005 29.11.2006 23.12.2005 15.05.2007 24.05.2007
US 4935232 A	19.06.1990	PT 81271 AB IE 64537 B IE 852455 L US 4608289 A US 4647601 A US 4753749 A AU 589142 B US 4908209 A US 4996052 A IN 168675 A US 5024840 A US 5032310 A US 5133933 A US 5474739 A	01.11.1985 09.08.1995 09.04.1986 26.08.1986 03.03.1987 28.06.1988 05.10.1989 13.03.1990 26.02.1991 18.05.1991 18.06.1991 16.07.1991 28.07.1992 12.12.1995
US 4693302 A	15.09.1987	US 4842049 A	27.06.1989

CLASIFICACIÓN DEL OBJETO DE LA SOLICITUD

F28G 9/00 (2006.01)

F28C 1/00 (2006.01)

F28D 5/02 (2006.01)

INNOVATIVE EVAPORATIVE COOLERS, COOLING TOWERS AND EVAPORATIVE CONDENSERS, WITH HYGIENIC DESIGN

LOPEZ-GOMEZ A.^(*), CASTAÑO-VILLAR A.M.^(*),
HERNANDEZ-HERNANDEZ M.E.^(*), PALOP-GOMEZ A.^(*)

^(*)Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII, 48, Cartagena, 30203, Spain
antonio.lopez@upct.es

ABSTRACT

The deficiencies in the hygienic design of the cooling towers and evaporative condensers, and the lack of automatic and effective cleaning systems, are probably the most important causes of the serious sanitary problem that can be generated by the contamination, proliferation and emission, through aerosols, of the pathogen *Legionella pneumophila*. A fully hygienic design of these equipments is proposed, described and experimentally validated in this work. This evaporative cooler incorporates an automatic system of cleaning (without disassembling) and disinfection, that works in a programmed form, and with the adequate frequency, so that good conditions of hygiene are ensured. It incorporates (i) design characteristics that reduce or eliminate the risk of being a source of contamination for water, in a direct or indirect form, and (ii) an automatic and effective system of cleaning and disinfection that reaches all the internal corners of the equipment, avoiding accumulations of dirt and biofilms.

1. INTRODUCTION

The legionary's disease is a serious disease caused by the inhalation of the bacteria *Legionella pneumophila* or other species of *Legionella*. This microorganism can be found in potable water facilities: at home, hotels and hospitals, and in some components of the industrial refrigerating facilities and air conditioning systems, such as the cooling towers and evaporative condensers (the evaporative coolers). The ecological niches of *Legionella* are rivers and lakes, although usually in very low counts. From this natural source it may reach the water pipes of the cities, and from here the residential buildings, offices, hotels, hospitals, industries, public fountains, etc., where it can proliferate if the conditions are appropriate. This microorganism grows at temperatures between 20 and 50°C, but not below 20°C, and does not survive at temperatures higher than 60°C. This microorganism needs several nutrients to grow, and it finds those nutrients in the dirty water, where also the seaweed, the protozoa and amoebas, and other bacteria proliferate. The presence of sediments, mud, lime, and other materials, along with biofilms, play an important role in their protection and provide the favourable conditions for the growth of this microorganism (Murga et al., 2001). This legionary's disease is transmitted usually through the respiratory system, inhaling air that contains *Legionella* in an aerosol, that is formed, for example, from small drops of water that are generated when spraying water, or when air is bubbled in water, or when water impacts on a solid surface. The smaller are these drops, the more dangerous are, because small drops reach more easily the airflows of smaller speed. For that reason, the evaporative coolers (cooling towers and evaporative condensers) are potential origins of this disease (Mouchtouri et al., 2010).

The enclosed and dirty waters (like those that may be found in a refrigerating installation that is not cleaned after being used, and then is closed down for some days) favour the proliferation of this microorganism. This situation is very frequent, mainly in refrigerating facilities in poor state and with a deficient maintenance. Actually, the circumstance of not cleaning with the due frequency occurs very frequently, in all type of refrigerating facilities. Moreover, the evaporative coolers (cooling towers or evaporative condensers) of the refrigerating facilities should be resistant to the corrosion that may cause the use of chlorinated biocides (in high concentrations), but most of the facilities are not prepared for the strict disinfection and they undergo a very high degree of corrosion. This situation favours the generation of hollows and cracks where biofilms are formed, protecting this microorganism against disinfectants (Castaño et al., 2007).

Generally, the design of the present evaporative coolers (cooling towers and evaporative condensers), which are in the market, is characterized by a good thermal and energy behaviour, but it is shown clearly that the hygienic design aspects of these equipments have been always neglected. When they have to be cleaned they have to be disassembled, and this has to be done with the refrigerating facilities disconnected, since cleaning personnel has to come inside and to the upper part of the equipment. This cleaning operation is not usually made with the due frequency because it has to be done manually, and because this equipment does not have a correct hygienic design, that would allow a good and easy cleaning. The cooling towers and evaporative condensers are equipments that undergo a constant fouling. The continuous recirculation of poor quality water on materials that are easily attacked by water, and the exposition to the external atmospheric contamination, with organic and inorganic matter that falls in the interior of the equipment, makes the evaporative cooler an apparatus with high risk of contamination by microorganisms. In particular, the most problematic component for cleaning is the filling, through which the water runs to cool in the cooling tower. This element does not have a hygienic design, making difficult the cleaning and causing the formation of incrustations and biofilms where *Legionella* can take refuge.

Different innovations for the control of the *Legionella* are based mainly on the use of antimicrobial chemicals adsorbed in the construction material of the filling, as it is described, for example, in the patent of Kienboeck and Podhorsky (2004). However, such chemicals disappear in relatively short time, leaving the equipment unprotected for bacterial growth. Moreover, the use of these active agents in the filling, may lead to the development of bacterial resistance to the biocides. On the other hand, passing the water in the evaporative cooler through a filling without producing aerosols can reduce the probability of emission of *Legionella* to the outside, as it is described in the patent of Fassi et al. (2005). However, it will not avoid the presence and growth of the pathogen, which will be present while the dirt persists in these facilities, and still more, if the filling is not hygienically designed, it will become a perfect ecological niche for the microbial development. For that reason, emission to the outside of this pathogen can be produced any time accidentally, although with a low probability.

All above is the main motivation of this work: to solve the problem of the sanitary risk caused by the use of the present cooling towers and evaporative condensers which show a quite deficient hygienic design.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Hygienic evaporative condenser at pilot plant scale.

In order to avoid the serious sanitary problem that can be generated in the evaporative coolers (cooling towers and evaporative condensers), caused by the contamination, proliferation and probable emission, through aerosols, of the pathogen microorganism *Legionella pneumophilla*, a fully hygienic design of these equipments has been developed. For testing it an evaporative condenser has been constructed at pilot plant scale (see Figure 1). It has a refrigeration power of 100 kW, and it incorporates an automatic system of cleaning and disinfection (named CIP, “cleaning in place”, an automatic system of cleaning without disassembling), that works in a programmed form, and with the adequate frequency, so that good conditions of hygiene are ensured.

The design of this evaporative cooler prototype (evaporative condenser) is considered “hygienic” because it incorporates, among others, the following aspects of the hygienic design: (i) suitable selection of the construction materials; (ii) good finishing of the surfaces that will be in touch with water (the solution of surface finishing shown on Figure 2, from an actual evaporative condenser is not adequate); (iii) good drainage of the equipment - that has to be completely drained without leaving rests of washing solutions; (iv) round encounters between the different internal surfaces within the equipment; (v) a suitable closing of the equipment to protect it against the dirt coming from the outside; and (vi) an automatic and effective system of cleaning and disinfection that reaches all the internal corners of the equipment, avoiding accumulations of dirt and biofilms (see Figure 3).

The evaporative condenser developed had the following design features: bundle of stainless steel tubes AISI 316, 5/8" in diameter, 0.5 mm thick, with 26 rows of tubes 14 tubes each, with a total of 364 tubes, and tubes

length of 1550 mm; 2 fans of 6,000 m³/h each. In the thermal assessing conditions (inlet air temperature and RH = 21.7 °C and 35.8%, and outlet air temperature and RH = 23.2 °C and 91.3%) the results obtained are: cooling capacity = 99.67 kJ/s; total water consumption (evaporation and drag) of 1.70 kg water/kW.h, and it was obtained an overall coefficient of heat transfer between refrigerant and water of 387.20 W/m².°C, assuming constant the temperature of recirculating water at the approximate steady-state conditions (Qureshi and Zubair, 2006).



Figure 1. Hygienic evaporative condenser designed, constructed and tested at pilot plant scale.

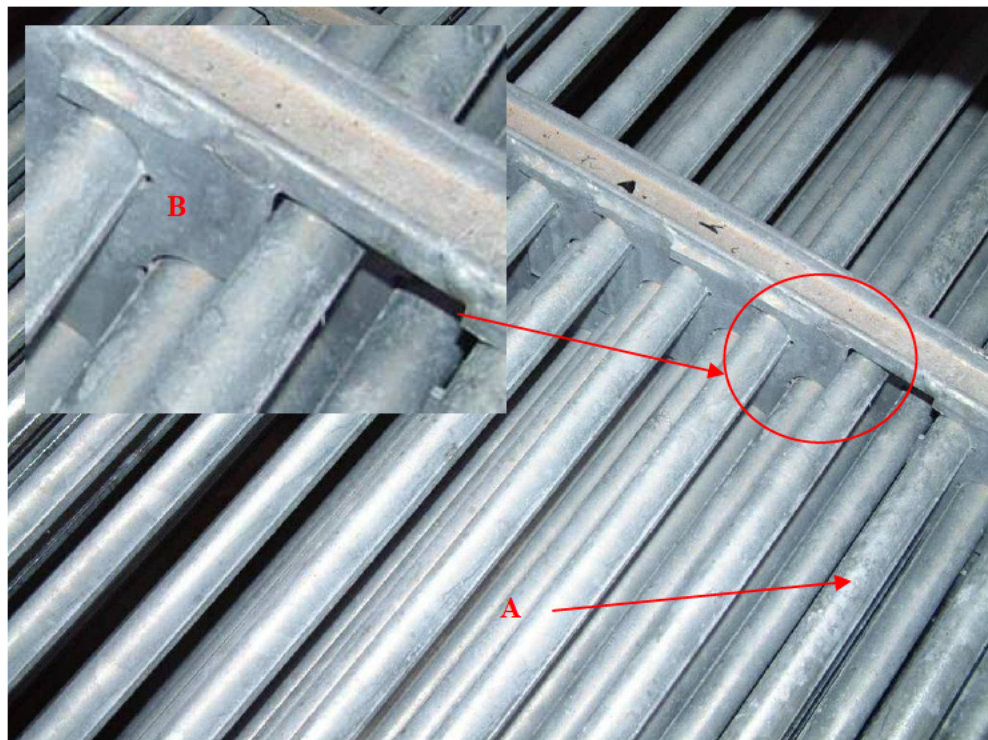


Figure 2. Hygienic design defects in the tube bundle of the heat exchanger in an actual evaporative condenser: excessive roughness (A) and difficult to clean gaps (B)

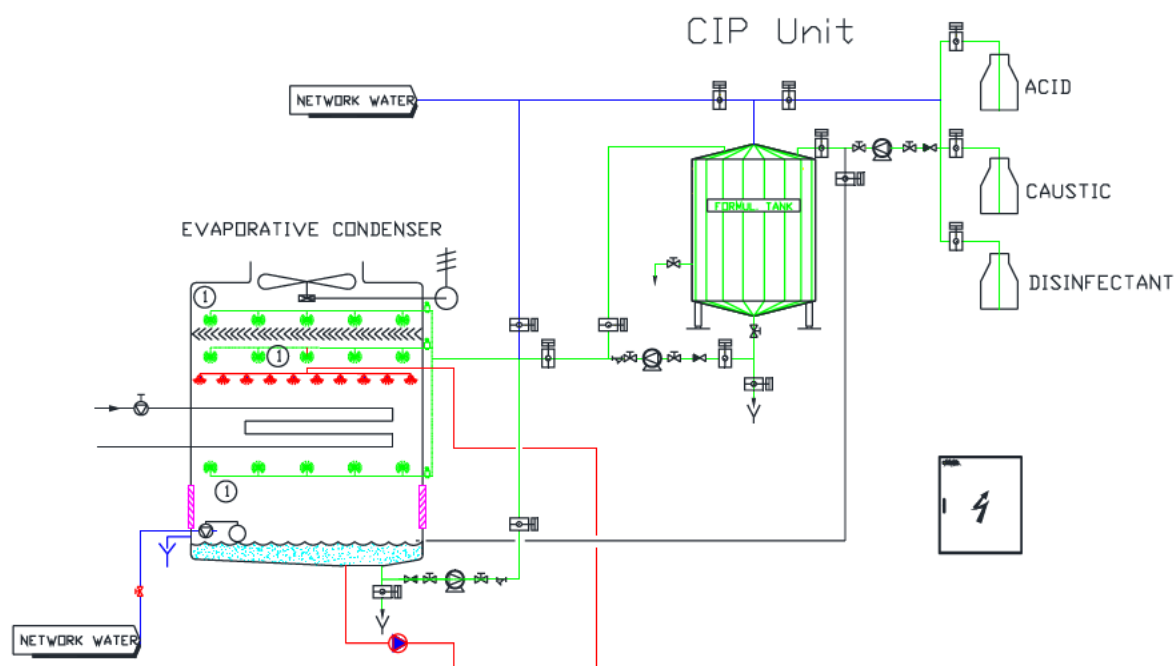


Figure 3. Components of the tested hygienic evaporative condenser (López-Gómez et al., 2007). The components (1) are automatic nozzles to apply cleaning and disinfection solutions.

The innovations tested and incorporated in this prototype condenser give rise to a new evaporative cooler (cooling tower or evaporative condenser) that incorporates all a series of technical improvements that would differentiate it clearly from the existing cooling towers and evaporative condensers in the market. This novel evaporative cooler (cooling tower or evaporative condenser) that is described in the patent of López-Gómez et al (2007) presents the following differentiating characteristics:

1. It has an absolutely hygienic design that fulfills the criteria of hygienic design of the equipment of liquid food processing that is exposed, for example, in the guidelines of hygienic design of the EHEDG (European Hygienic Engineering and Design Group, www.ehedg.org). The accomplishment of these improvements is well developed and adapted to liquid food processing equipment. These improvements let the equipments of liquid food processing to be cleaned and disinfected in an effective form and automatically. Therefore, this design implies the direct adaptation of these principles of hygienic design of the food equipment to the evaporative cooler (cooling tower or evaporative condenser), object of this invention, considering as a liquid food the water that circulates throughout the cooling tower or evaporative condenser. Therefore an evaporative cooler with a new design suitably adapted from the point of view of the hygienic design will be obtained.
2. It incorporates an automatic system of cleaning and disinfection that ensures the absence of growth of pathogenic microorganisms as *Legionella*. The automatic cleaning ensures a suitable frequency of cleaning so that dirt is not accumulated. At the moment, cleaning of these cooling towers and evaporative condensers is made manually, with a very low frequency and a high risk of proliferation of *Legionella*. The systems of automatic cleaning are named technically as CIP systems or CIP units, which mean cleaning without disassembling and without people. These CIP systems are well developed in the liquid food industry. These systems can be connected to any equipment, as long as that equipment has a design adapted to that possibility of being cleaned and disinfected automatically. The evaporative cooler (cooling tower or evaporative condenser) object of this invention has such an adapted design.

Washing nozzles used in the automatic cleaning system of the experimental condenser shown in Figures 1 and 3 were tested and selected using a laboratory condenser (Figure 4).

2.2. Analysis and cleanability testing methods.

The physical and chemical characteristics of water used in the laboratory model, and the hygienic condenser tested at pilot plant scale, were determined before and after condenser cleaning. Total hardness, iron content and active chlorine were analyzed using colorimetric methods; chlorides and manganese were determined by atomic absorption and total solids by gravimetric analysis; water temperature, pH, and electric conductivity were also measured (Castaño et al., 2007). But, this article only discusses the most remarkable results.

The microbiological characteristics of the water of evaporative condensers (laboratory model and prototype) were also determined. The presence of amoeba and other protozoans was examined by culturing in agar-agar (Scharlab, Barcelona, Spain), incubating at 25 °C for 2 days and observation at the microscope (Castaño et al., 2007). Total aerobic mesophilic counts in water (expressed by Forming Colony Units (FCU)/cm²) were done by spread in plate count agar (Scharlab) after appropriate dilution in buffered peptone water (Scharlab), and incubation at 30 °C for 2 days (Castaño et al., 2007). *Legionella* was not detected in these work, but it was analyzed and enumerated following the ISO 11731 procedure, incubating in GVPC agar (AES, Bruz Cedex, France) for up to 13 days at 37 °C and confirming presumptive colonies in BCYE agar (AES) for 2 days at 37 °C (Castaño et al., 2007). As set above, this article only discusses the most remarkable microbiological results.



Figure 4. Laboratory evaporative condenser used for washing nozzles cleaning efficacy testing.

The cleanability (and disinfecting) tests have been developed as follows:

- a) Specifying an appropriate biomarker related to the intended use of equipment. It has been used the aerobic microorganisms count, which is the first microbiological analysis that is done to evaporative cooling equipment when it is necessary to assess their sanitary status.
- b) Select the analytical procedure used to determine the amount of this indicator present on the equipment.
 - i. Count of microorganisms in water (FCU / mL of water).
 - ii. Count of microorganisms on surfaces (FCU/ 25 cm² of surface) (Rodac plate method).
 - iii. Count of microorganisms in air (FCU/m³ of air) (method of impact).
- c) Set the CIP cleaning and disinfection program to be evaluated in terms of time, temperature, concentrations and mechanical action of application.



Figure 5. Dirt applied on surfaces of internal components using talc paste (including drop drift eliminator), for the pilot plant scale cleanability tests.

The cleanability tests have been done at laboratory scale in the model shown in Figure 4, and it has been carried out at pilot plant scale applying dirt on the surfaces of various internal components of evaporative condenser, using talc paste (see Figure 5).

For the disinfecting tests, the evaporative condenser prototype has been operated in normal conditions in a factory (during a week), until the microbial load in surfaces and water has been sufficiently high to carry out its elimination by washing and disinfecting.

The microbial contamination on these surfaces has been determined before and after applying the cleaning and disinfecting protocol. This contamination has been explained by means of surface microbial load (Forming Colony Units (FCU)/25 cm²), and the particles count (in number of particles of various size per m³ of air) and microbial load in the exiting air (FCU/m³ of air). Aerobiological sampling was carried out according to the impact method (Prince et al., 2002), and using a sampler mod. MER MAS-100. It was carried out counting and classification of airborne particles by size in the air using a particles counter mod. MET ONE.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Monitoring of chloride and carbonate content of water has allowed the elaboration of the graph of Figure 6 which shows the ratio of carbonates and chlorides in the course of the experiments in the evaporative condenser laboratory model. This ratio, when it takes values less than 1 indicates that calcium ion has been precipitated and is not in solution, then present in crystalline form as calcite. The calcite builds up on the surfaces of the heat exchanger tubes forming deposits (Figure 7) that must be removed in a timely and appropriate manner. The study has shown that calcite begins to appear on the surface of stainless steel tubes (in the laboratory model) when the conductivity of water is about 2500 mS / cm. This value is low for the commercial evaporative condensers, where, in addition, due to chlorination of water, the pH is high and favorable for the precipitation of salts. So, it is clearly justified in having an appropriate automatic cleaning system to remove them with an appropriate frequency.

The air was sampled at the outlet of the drop drift eliminator when the water from the prototype model showed a high contamination of aerobic microorganisms (> 10⁵ CFU / mL) and after cleaning and disinfecting was carried out. The results of total count of microorganisms in air are shown in Table 1. It can be observed that the count of microorganisms in the exiting air from the prototype condenser is lower than the count in the outside air. The condenser does not increase the microbial load of the air. It is therefore perfectly sanitized. In addition, the counting of microorganisms on surfaces of the prototype condenser can be seen in Table 2, before and after the cleaning and disinfection were carried out, and it is observed that the disinfection is adequately applied and the results are quite satisfactory.

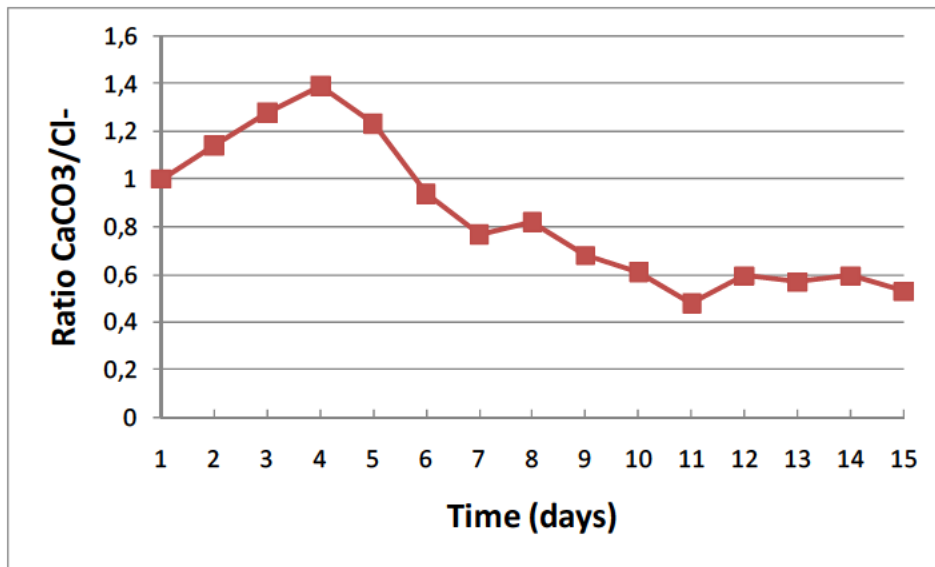


Figure 6. Ratio CaCO₃/Cl- in the course of the experiments in the evaporative condenser laboratory model.



Figure 7. Crust deposits on the surface of the tubes of laboratory model.

Table 1. Total count of microorganisms in air before and after cleaning and disinfecting (in FCU/m³ of air).

	Air sample	FCU/m ³
Before cleaning and disinfecting	Air from drop drift eliminator	370
	Exterior air	260-300
After cleaning and disinfecting	Air from drop drift eliminator	65
	Exterior air	250-300

Table 2. Total count of microorganisms in surfaces within the prototype condenser (in FCU/25 cm²).

Before washing and disinfection	After washing and disinfection	Zone
39	4	lower water container
29	6	support elements
130	1	heat exchanger tubes
10	0	interior lateral wall
8	1	drop drift eliminator



Figure 9. After washing, the dirt is eliminated from the surfaces of the heat exchanger tubes, and the drop drift eliminator.

4. CONCLUSIONS

It has been developed, designed and built a hygienic prototype evaporative cooler, which was experimentally evaluated from the point of view of their cleanability and disinfection efficacy, at laboratory and pilot plant scale. It has been shown that the new concept developed and studied adequately meets the specifications of cleanability and disinfection efficacy. In a previous study (Castaño et al., 2007) it was found that the actual evaporative condensers and cooling towers are hard to maintain to achieve complete microbiological safety, being the manually cleaning the main problem. The new concept of evaporative cooler developed and validated in this work achieves an appropriate microbiological safety by incorporating an automatic cleaning and disinfecting system.

5. REFERENCES

- Castaño AM, Hernández ME, López-Gómez A, Palop A. 2007, Presence of *Legionella pneumophila* in evaporative condensers and its relation with the characteristics of the water. *Proc. ICR 2007 Congress*, IIF/IIR, Beijing, China.
- Fassi L, Merchat M, Zoughaib A, Clodic D. 2005. Method and system for supplying water to cooling towers, *Patent* WO2005124253 A1.
- Kienboeck M, Podhorsky M. 2004. Packing element for cooling towers, *Patent* EP1452821 (A1).
- López-Gómez A, Palop-Gómez A, Hernández-Hernández ME, Castaño-Villar AM. 2007, Automatic hygienic evaporative cooler, *Patent* WO 2007/135219 A1.
- Mouchtouri VA, Goutziana G, Kremastinou J, Hadjichristodoulou C. 2010, Legionella species colonization in cooling towers: Risk factors and assessment of control measures, *Am J Infect Control* 38:50-5.
- Murga R., Forster TS, Brown E, Pruckler, JM, Fields BS, Donlan RM. 2001, Role of biofilms in the survival of *Legionella pneumophila* in a model potable-water system, *Microbiology* 147: 3121-3126).
- Prince EL, Muir AVG, Thomas WM, Stollard RJ, Sampson M, Lewis JA. 2002, An evaluation of the efficacy of Aqualox for microbiological control of industrial cooling tower systems. *J Hosp Infect* 52: 243-249.
- Qureshi B.A., Zubair S.M. 2006., A comprehensive design and rating study of evaporative coolers and condensers. Part I. Performance evaluation. *Int J Refrigeration* 29: 645–658.

Hygienic Design and Microbial Control of Refrigeration and Air Conditioning Systems for Food Processing and Packaging Plants

Antonio López-Gómez · Antonio M. Castaño-Villar ·
Alfredo Palop · Fulgencio Marín-Iniesta

Received: 15 August 2012 / Accepted: 29 October 2012 / Published online: 10 November 2012
© Springer Science+Business Media New York 2012

Abstract The critical control points of the refrigeration and air conditioning systems serving the food processing and packaging plants are analyzed from the hygienic viewpoint. They identified the problems of hygienic design of the various components of refrigeration systems and air conditioning installations, and several solutions are described. The lack of hygienic design of air conditioning and refrigeration systems, and their inadequate cleaning and disinfection procedures, can cause significant economic losses and epidemic diseases in people, employees, or visitors, or in the final food consumers. So, the present manuscript analyses: (1) the microbial control in refrigeration systems, including the control of *Legionella*, and the limitations of using biocides embedded in plastic materials (for cooling tower filling and air ducts in air conditioning systems); (2) the hygienic design of evaporative coolers (evaporative condensers and cooling towers) as a new way for controlling *Legionella* contamination; and (3) the microbial contamination and hygienic design of air conditioning systems for food processing and packaging rooms, including the microbial control in the air by means of UV lamps, essential oil aerosolization, and filtration. The interest of the clean rooms and microbiologically controlled environments for food processing and packaging

is explained through a case study of slicing and packaging of ready-to-eat meat products.

Keywords Hygienic design · Microbial control · Refrigeration systems · Air conditioning systems · Food processing and packaging plants

Introduction

The air within food factories, as in offices, hotels, hospitals, and residential buildings, should have an adequate quality (in terms of temperature, humidity, particle and microorganism counts, and other contaminants as volatile organic compounds). This air has to be properly renewed with fresh air, to meet established requirements of comfort and convenience and health of people who breathe that air [142]. In addition, it is also necessary to impose controls on air quality in food processing and packaging to reduce the possibility of contamination of foods with spoilage and pathogen microorganisms. In ultraclean and aseptic processing and packaging, the quality of the process air that comes into contact with food has to be specially controlled, because these technologies pursue a very low or negligible microorganism counting in the packaged product [112]. This achievement prevents or reduces the addition of preservatives mainly in aseptic packaging systems, getting higher-quality products, safer, healthier, and with a longer shelf life [79]. Therefore, the use of suitable air decontamination systems (as filtration or other systems) and recontamination control systems is necessary to maintain the air quality [42, 79].

Air filtration is a well-known technique, but not always well applied. The need for hygienic design of different parts of refrigerating systems (especially cooling towers

A. López Gómez (✉) · A. M. Castano Villar · A. Palop
Food Engineering and Agricultural Equipment Department,
Universidad Politécnica de Cartagena, Paseo Alfonso XIII,
48, 30203 Cartagena, Spain
e mail: antonio.lopez@upct.es

F. Marín Iniesta
Department of Nutrition, Bromatology and Food Technology,
Universidad de Murcia, Campus de Espinardo,
30100 Murcia, Spain
e mail: fmarin@um.es

and evaporative condensers) and of air conditioning systems has been less studied. This is an important aspect that needs to be taken into account in order to achieve an air with a high microbiological quality. The hygienic design means that equipments must allow easy and effective cleaning and disinfection [40, 71, 76]. If a refrigerating or air conditioning system, where air and/or water flows, does not have adequate hygienic design and maintenance, then it has a relatively high probability of microbial growth on its surfaces and microbiological contamination of air passing through it. Moreover, an unwanted microbial growth in product and/or in people touching or breathing this air can occur. In fact, the lack of hygienic design of air conditioning and refrigeration systems, and their inadequate cleaning and disinfection, can cause significant economic losses and the growth of pathogens and diseases (such as *legionellosis*) in people, employees, or visitors, or in the final food consumers [37, 39, 42, 45, 73, 89].

In this review the critical control points of the refrigeration and air conditioning systems serving the food processing and packaging plants are analyzed from the hygienic point of view. The problems of hygienic design of the various components of refrigeration systems and air conditioning installations are identified, and solutions are proposed: (a) the microbial control in refrigeration systems, with special analysis of the problems concerning *Legionella* control; (b) the limitations of using biocides embedded in the plastic materials used in cooling tower fillings and air ducts in air conditioning systems; (c) the hygienic design of evaporative condensers and cooling towers as a new way for controlling air contamination with *Legionella*; and (d) the microbial contamination and the interest of the hygienic design of air conditioning systems (including the ducts) serving food processing and packaging rooms. The microbial control in the air by means of UV lamps, essential oil aerosolization, and filtration is deeply analyzed; the interest of clean rooms and microbiologically controlled environments for food processing and packaging is analyzed through the case study of slicing and packaging of ready-to-eat meat products.

Microbial Control in Refrigeration Systems: Control of *Legionella*

Legionellae are opportunistic bacterial pathogens causing Legionnaires' disease and Pontiac fever and are widely spread in the aquatic environment. Surveillance data from 1990 to 2005 indicate that legionellosis cases have dramatically increased in recent years, underscoring the importance of understanding this disease and its environmental sources [95]. *Legionella* spp. is ubiquitous in nature with water being the major reservoir for these organisms

[124]. The ecological niches of *Legionella* are rivers and lakes, although these microorganisms are present usually in very low counts [69]. To date, outbreaks of legionellosis have not been associated with natural freshwater lakes. However, from this natural source it may reach the supplying and distribution system of public water and, from here, residential buildings, offices, hotels, hospitals, industries, public fountains, etc., where it can proliferate if the conditions are appropriate [10, 65, 132]. The enclosed and dirty waters, such as those that may be found in industrial refrigerating facilities and air conditioning systems that are not cleaned after being used and then are closed down for some days, favor the proliferation of this microorganism. *Legionella* contamination of industrial cooling towers has been identified as the cause for sporadic cases and outbreaks of legionellosis among people living or working nearby [24].

Legionella is an aerobic Gram-negative rod with one or more polar or lateral flagella. This microorganism grows at temperatures between 20 and 50 °C and does not survive at temperatures higher than 60 °C [100, 126]. This microorganism needs several nutrients to grow, and it finds those nutrients in the dirty water, where also the seaweed, the protozoa and amoebas, and other bacteria proliferate [48]. The presence of sediments, mud, lime, and other materials, along with biofilms, plays an important role in their protection and provides the favorable conditions for the growth of this microorganism [94, 132]. Such biofilms may protect the microorganism from disinfection [31, 51]. Moreover, the selection of resistant strains by repeated disinfection has also been reported [56]. However, in these environments *Legionella* spp are also subjected to protozoan predation and, therefore, have countered this fact by developing means of parasitizing and residing within at least 20 species of amoebae, two species of ciliated protozoa, and one species of slime mold [68]. Rowbotham [116] was the first to describe the ability of *Legionella pneumophila* to multiply intracellularly within protozoa and suggested later on that free-living amoebae could be a reservoir for *Legionella* species [117, 133]. Since amoebae are common inhabitants of natural aquatic environments and water systems [66, 111] and since they have been found to be resistant to extreme temperature, pH, and osmolarity while encysted [108], this reservoir is very important [123]. Further, there may be an obligate need for intracellular growth within protozoa to select for, protect, and maintain potentially pathogenic *Legionella* spp. in the environment [68].

The legionary's disease is a severe type of infection caused by the inhalation of the bacteria *L. pneumophila* or other species of *Legionella*, with a case mortality rate of about 8.8 % [83]. Currently, there are over 50 species with 70 distinct serogroups in the genus *Legionella*, with

L. pneumophila serogroup 1 being the most virulent species of the genus and responsible for approximately 70 % of all Legionnaire's disease cases in the United States and Europe [139]. This disease was recognized for the first time in members of the Pennsylvania American Legion attending a hotel conference in Philadelphia in 1976 [49]. Elderly people, immune-depressed persons, or people suffering a serious chronic disease are more susceptible of being infected [39].

Ten years after the disease was discovered, collaboration began on a European level through the European Working Group for *Legionella* Infections (EWGLI), considering the disease as serious, especially because of the social alarm it produces and the results in mobilization of resources, although its incidence is only 1.0–30.0 per million people [37]. Some authors claim that this figure may be 20 times higher, because it is estimated that officially it is reported less than 5 % of the occurring cases [37]. Apparently, it causes between 2 and 16 % of cases of pneumonia that occur in the population [37].

Legionnaire's disease is transmitted usually through the respiratory system, inhaling air that contains *Legionella* in an aerosol, which is formed, for example, from small drops of water that are generated when spraying water, or when air is bubbled in water, or when water impacts on a solid surface [125]. The smaller are these drops, the more dangerous they are, because small drops reach more easily low-speed airflows. For this reason, the evaporative coolers (cooling towers and evaporative condensers) are potential sources of this disease [92]. Humans are infected not only by inhaling free *Legionellae* but by inhaling vesicles or amoebas filled with *Legionella* organisms [116]. These vesicles filled with *Legionella* might contain as many as 10^4 bacteria [117]. Person-to-person transmission is unlikely [49]. However, legionellosis is increasingly being identified from direct exposures to drinking water [109, 110, 138].

Pontiac fever, the second self-limiting illness, was first recorded as an acute respiratory disease that afflicted employees and visitors in a health department in Pontiac, MI [38]. Both diseases can sometimes be produced by the same species. The conditions under which an individual develops either Legionnaire's disease or Pontiac fever are not fully understood but may depend on the health status of the individual, the degree of exposure to the organism, and/or the strain-specific virulence [15]. To date, studies on sporadic cases and outbreaks, conducted mainly on indoor environments (e.g., hospitals and hotels), indicate that the risk of disease became significant when the *Legionellae* concentration in aerosol-producing water exceeded 10^3 – 10^4 CFU/L [114].

According to different authors [9, 37], the most dangerous situation during handling of a refrigeration system

with evaporative coolers takes place when the system is stopped, for example, during weekends and holidays, and then starts up without performing any kind of cleaning and disinfection. This action causes a large release of aerosol to the outdoor environment with a great pollutant load. However, current laws state that it is necessary to clean and disinfect these evaporative coolers before starting the refrigeration system after having been stopped for some days. For example, Spain has a legislation that is among the most comprehensive and stringent of the European Union. But, this legislation is not met in many cases because the cleaning of the evaporative coolers has to be done manually each time [75, 78].

In addition, efficient disinfectants and disinfection strategies have to be chosen to achieve effective *Legionella* spp. decontamination in industrial settings according to the specific context [137]. Disinfectants should be distributed in a targeted way, taking into account the possible sources of contamination and also their potential for system corrosion [24].

The problem is that cooling towers and evaporative condensers are equipments that suffer a constant fouling [128]. They have high risk of contamination by microorganisms due to the continuous recirculation of poor-quality water on materials suffering corrosion, and to the exposure to external contamination from the environment surrounding the equipment that brings organic and inorganic materials which foul inside the equipment. In particular, one of the most problematic components for cleaning and disinfecting is the traditional filling through which the water flows within the cooling tower. Usually, this filling does not have adequate hygienic design, greatly complicating the cleaning and promoting the formation of scale and biofilms or layers of microorganisms where *Legionella* can shelter [26, 27, 80].

Different innovations for the control of the *Legionella* are based mainly on the use of antimicrobial chemicals embedded in the construction plastic material of the aforementioned filling, as it is described, for example, in the patent of Kienboeck and Podhorsky [62]. But, these antimicrobials eventually disappear in a relatively short time, being the filling unprotected against colonization by bacteria. In addition, the use of active agents in the filling, which is not totally effective, may promote the development of bacterial strains resistant to biocides [82].

On the other hand, the simple idea (as developed in the patent of [32]) of passing the water in the cooling tower through a new filling without producing aerosols can greatly reduce the probability of emission of *Legionella* aerosols. However, it does not prevent the development and growth of the pathogen, which will be present if dirt persists in these facilities and even more if the filling does not have a hygienic design, making it a perfect niche for

microbial growth. Therefore, the accidental outside emission of this pathogen can be produced at any time, even with a low probability. Indeed, the drift eliminators on cooling towers and evaporative condensers, even those referred as of high efficiency, do not remove all the droplets, in particular smaller size $<10\text{ }\mu\text{m}$, which are those forming the aerosol. These droplet sizes are those that can transport and disseminate *Legionella* [89].

Limitations of Using Biocides Embedded in the Plastic Materials

The global consumption of plastics formulated with biocides to prevent microbial growth occurring from organic plasticizers was 15,400 tons in 2005, of which one-third was located in Europe and another third in North America. PVC consumed two-thirds of these biocides [82]. Inorganic antimicrobial biocides are generally based on metals such as silver and copper, which can be used in much lower concentrations in applications such as plastics where high-temperature processing is not feasible for organic compounds [35, 96]. The metal ion, the active ingredient, is contained in an inert matrix, from which is being released at a low controlled rate, from the exposed surface of the plastic to provide a long-term protection. However, the silver metal nanoparticles in polyamide matrices present higher ion release rates than microparticles because of their extremely high specific surface area [34, 35]. It is estimated that at present about 320 tons/year of nanosilver are produced and used worldwide [96].

In the United States, the use of antimicrobial silver in the ducts and filters of HVAC (heating, ventilation, and air conditioning) is growing. The use of such antimicrobials in home appliances, particularly refrigerators, has grown in recent years too. A study by the Institute of Hygiene and Public Health, University of Bonn (Germany), has shown that the inner surfaces of refrigerators that are treated with antimicrobial silver have significantly reduced levels of *Listeria*. The largest manufacturer of refrigerators in Europe, Asia, and America has already incorporated this type of antimicrobials within their refrigerators [73].

The applications in contact with water, such as water coolers, ice-making systems, filters, valves, pipes, and fittings, show a high growth potential. An important growth in the application of these antimicrobials is expected because the idea that a surface has not only to be easier to clean but also to stay clean longer is readily accepted. A combination of silver and copper ions is sometimes used. While silver prevents the growth of bacteria, copper prevents the growth of molds, in applications such as HVAC [82].

The problem in the use of these biocides in such ducts is that it is sometimes thought that they provide pathogen

pollution free air. However, it is necessary to have them clean in order to achieve microbial safety. The hygienic design has to be seriously considered in the ducts and in all the components through which the air to be conditioned passes prior to contact with people and food along processing and packaging where an adequate level of hygiene, or clean air, is needed.

In addition, with the increasing presence of manufactured nanomaterials in consumer and industrial products, large quantities of silver nanoparticles could be released and eventually enter aquatic ecosystems, posing serious possible risks to the environment [5].

This type of antimicrobial plastics applies also to PVC filling of the cooling towers, but it does not solve the problem of the presence of *Legionella* in these equipments completely, because a common characteristic of these devices is their lack of hygienic design. These fillings are difficult to clean and are not cleaned with the adequate frequency, so they suffer a progressive accumulation of dirt on their surfaces, so that the outer layers of dirt would not be affected by these biocides [26, 27, 80].

Hygienic Design of Evaporative Coolers: A New Way for Controlling *Legionella* Contamination

The current design of cooling towers and evaporative condensers which are on the market is characterized by its good thermal and energy performance [1, 103, 105, 140], although the aspects of hygienic design of these equipments have been neglected in all cases [80]. These cooling towers have to be dismantled each time they have to be cleaned, and this must be done with the refrigeration system disconnected. Then the filling has to be removed, and cleaning personnel has to access to the interior and to the top of the equipment for cleaning by hand. This is the main reason why the cleaning is not usually well done and the frequency is not adequate. Another important reason is that these equipments do not have proper hygienic design, which ensures a good and easy cleaning. The work of Castaño et al. [26, 27] shows that the main hygienic design problems in these equipments are the following (Fig. 1): (1) an incorrect arrangement and finishing of the internal surfaces of equipment elements that enables the accumulation of dirt, (2) the lack of an adequate drainage system in the pool bottom, (3) the use of inappropriate construction materials, and (4) the lack of an automatic washing and disinfection system like those serving the food processing equipments (CIP systems) [76].

In fact, one of the remarkable results of the analysis of deficiencies in hygienic design of the current evaporative condensers is the excessive roughness in the outer surface of galvanized pipes inside the tube bundle (Fig. 2). This hampers the maintenance of a minimum level of cleaning



Fig. 1 Corrosion and fouling in the interior of the evaporative coolers [26]

and disinfection, necessary to avoid microbial growth in water circulating inside the condenser. The result is that microbial counts are not adequately controlled and a relatively high probability of occurrence of aerosols contaminated with *L. pneumophila* exists (Fig. 3) [26, 27].

Therefore, a simple way to prevent contamination by *Legionella* is to act at the level of hygienic design of the equipment. To date, the hygienic design has not been kept in mind in these evaporative coolers as a way to control bacterial growth. But this idea is applied in various industries to avoid microbial contamination. For example, in the food factories, the hygienic design is intended to facilitate easy cleaning and disinfection of the equipment in order to prevent product contamination. This type of design refers mainly to the criteria of construction and geometry, material types, and surface finishes [41, 79].

The long-term benefits of using hygienic design in the equipments are not only microbial safety but also the potential to raise the shelf life of the equipment, reduce maintenance, and consequently reduce operating costs [41].

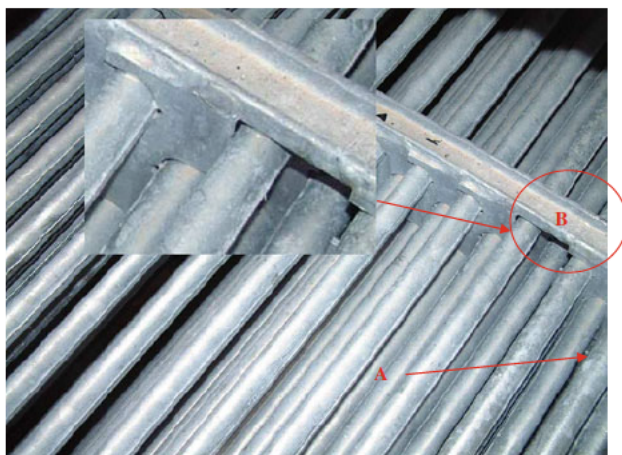


Fig. 2 Hygienic design deficiencies in the tube bundle of the heat exchanger in an actual evaporative condenser: excessive roughness (a) and difficult to clean gaps (b) [80]

Thus, it is desirable that the cooling towers of refrigeration plants are resistant to the corrosion that the use of chlorinated biocides (in high concentrations) may cause. However, facilities are not usually prepared to strict disinfection, and they normally are experiencing very high corrosion. This favors the generation of voids and cracks where biofilms are formed to protect the bacteria against disinfectants [80, 87].

To solve the problems of corrosion, scale, dirt, and microbial contamination of the cooling towers and evaporative condensers, a new design for these equipments has been developed [78]. In addition to hygienic design in each of its components, this new design incorporates an automatic system, which involves the use of a programmable logic controller (PLC) and allows the automatic cleaning and disinfection [80].

The evaporative condenser and cooling tower developed experimentally are cleaned with a CIP system (Clean in Place, without disassembling) [30, 70, 76] which, through a circuit of pipes and nozzles, applies conveniently dosed cleaning solutions from formulation tanks to the inner surfaces of the equipment (Fig. 4). This cleaning and disinfection is done at an appropriate frequency, without removing components, and reaching all the internal surfaces to prevent microbial growth that can be dangerous. The new concept of evaporative cooler, developed and validated experimentally according to different methods [8, 14, 102], achieved adequate microbiological safety [73–75, 78, 80].

Microbial Contamination and Hygienic Design of Air Conditioning Systems for Food Processing and Packaging Rooms

The results of studies attempting to relate the sick building syndrome (SBS) and the type of ventilation, and between SBS and ventilation rates, have highlighted the paradox that ventilation ratios within the offices should be increased to lessen SBS symptoms and to improve perceived air

Fig. 3 Aerobic mesophilic microorganism counts in the water of ten studied industrial condensers serving food factories (average values; error bars mean standard deviation). Dashed line represents the maximum advisable count [27]

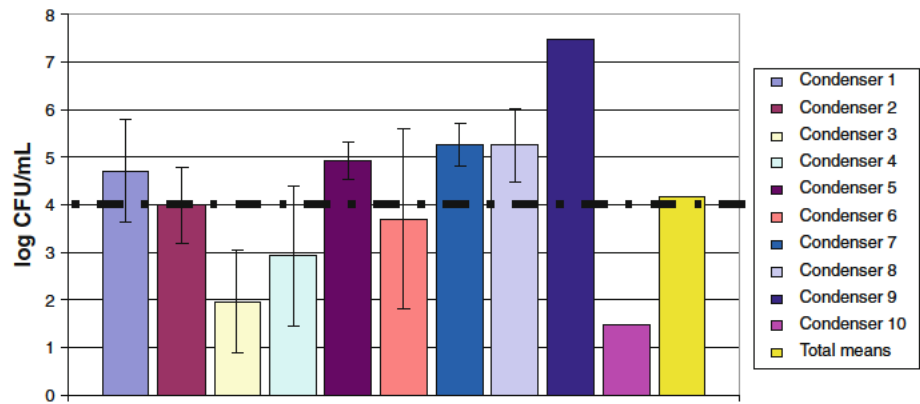


Fig. 4 Elements of the automatic CIP system validated experimentally in a hygienic evaporative condenser (left). After washing the dirt is eliminated from the surfaces of the heat exchanger tubes and the drop drift eliminator (right) [80]

quality and productivity, with respect to current standards [93].

Moreover, the predominant symptoms associated with the SBS are lower in naturally ventilated buildings [93]. However, despite the amount of studies conducted in populations in individual buildings and larger populations of employees or residents, the set of factors influencing the SBS has not been clearly found. Different authors relate the SBS to a variety of factors [85, 90, 93, 127]: mechanical ventilation, heating, cooling, and humidifying the air, volatile organic compounds (VOC) at low concentrations, several components of the dust particles, bioaerosols and endotoxins, the polluted outside air intake, classical physical factors in the environment, an indoor air pollution due to factors resulting from human activity (CO_2 , certain smells), etc. But a recent review of Straus [127] highlights the importance of molds in the phenomenon of SBS,

showing that *Cladosporium* sp. and other molds were commonly found in air-handling units (AHU) and ductwork.

Other authors emphasize the importance of psychosocial factors and work organization, as well as the influence of individual factors such as gender, or the existence of a disease [93]. Symptoms also vary among people working in the same building, probably due to differences between microenvironments and personal factors for a given individual person, and are found more frequently in women. The general and more frequent symptoms are headaches and fatigue, sore eyes, and upper respiratory tract irritation. The frequency of sickness absence is significantly higher in air-conditioned buildings.

The sources of air pollution of the buildings are mainly construction materials of the building and rooms, and ventilation and air conditioning system components. From

several studies it is concluded that from the point of view of the perceived air quality (odors and sensations), the main potential sources of air pollution in HVAC systems are filters, air distribution ducts, the tube bundles of air heating/cooling, and humidifiers [85, 90, 93, 127].

In the scientific literature related to the hygiene of air distribution ducts (in office buildings, the inner surface of the ducts represents 10 % of the total floor area), it becomes clear that the dust and microorganisms (fungi and bacteria) are concentrated mainly in the bottom surface of these ducts, which will be the main source of concentration of airborne particles, microorganisms, TVOC (total volatile organic compounds), and unpleasant odors [4, 58, 127].

Typically, the dust of filters and ducts is composed of particles of different origin, such as biological particles (pollen and microorganisms), soil particles, inorganic salts, and particles from combustion processes (energy production and traffic) [58].

Due to the lack of cleanliness, as they work tirelessly for a long time (or intermittently, with starts and stops), layers of dust that form at the bottom of the ducts can promote survival and growth of microorganisms, giving off metabolic products, spores, and even viable cells in the air that will eventually be inhaled, causing odor problems and health to the occupants of the building [58, 93, 107, 127].

Indeed, many biological particles of the air and its components, bacterial endotoxins and mycotoxins, are in the air of buildings and food factories. The survival and development of these biocontaminants in the air are partially linked to microbial colonization of material surfaces [93, 106, 113, 127].

The finned batteries of air heating/cooling are not considered a major source of air pollution of HVAC systems. However, the humidifiers have been identified as the cause of development and spread of microorganisms. The use of biocides does not guarantee a sufficient level of hygiene. Treatments have been proposed with hydrogen peroxide and the use of UV radiation, but the use of such radiation does not guarantee that the water is free of germs [12].

In all cases, the performance against fouling is affected by the surface material, although in different ways depending on the kind of fouling or cleaning. There are surfaces that promote less fouling of non-microbial type and are easier to clean. Other materials promote less adhesion and microbial biofilm formation [81, 113].

The conditions of outside air with low relative humidity (<80 %) and relatively high temperature (>12 °C) result in a marked reduction in the concentration of microorganisms in the air (bacteria are reduced a 70 % and molds an 80 %). However, during long periods of high relative humidity (>80 %), there is a proliferation of bacteria in air filters, which pass to filtered air because normally they have a size less than 1.1 µm and therefore appear in the breathing air.

Therefore, it is proposed to limit the air relative humidity to 80 % at the inlet of the filters, for example, with air-drying systems before air conditioning [85, 90].

Contamination of rooms and buildings brings problems of deterioration of materials and structures and considerable health risk because allergies and infections may be developed by breathing spores, mycelial fragments, particles of contaminated materials, or dust. This contamination is related to the surface of the rooms/building or its facilities that are contaminated with excessive presence of mold and moisture [107].

The galvanized steel or stainless steel, copper and its alloys, and aluminum are metals used for the construction of ducts for air distribution, the former being the most usual. The material used in the coating of these ducts is usually glass wool that can be placed on the external surface in the form of light blankets with outer sheet impermeable to water vapor, generally acting as thermal insulation. It can also be applied inside the duct in the form of felt reinforced with glass fiber and protective plastic film and acting primarily as an acoustic absorber [60].

Hence, the arrangement of the components of the system has to be properly designed and built to facilitate maintenance and disinfection operations. In particular, the ducts must have sufficient access doors and hatches properly positioned for easy cleaning, disinfection, and hygiene verification tests. The hygiene of the system will be controlled by regular cleaning (and disinfection) of its components, as appropriate to prevent especially the accumulation of dust. After installation and before starting, the system must be cleaned and disinfected. Also, construction work should be done in a way to avoid contamination of the system with dust [42, 59].

One unsolved aspect is the automatic cleaning and disinfection of the air conditioning systems, including air-handling units and air distribution ducts, using a sort of CIP system like those used in food factories [73, 76].

The Contamination of the Air in Food Processing and Packaging Rooms

The indoor air quality is an important factor for both quality and safety of food products, as well as for the health of people working in food processing and packaging plants. Therefore, it has to be taken into consideration in the design of any food factory. This air may carry physical contaminants such as dust and other harmful particles, but also other even more dangerous such as chemical and biological contaminants. This is because right conditions for growth and dissemination of microorganisms or biological agents can be found in air conditioning systems [127].

Pathogens such as *Escherichia coli* [134], *Salmonella* [86, 99, 141], and *Listeria* [122] have the ability to survive

and move on air and the capability to contaminate food. All these air-transmitted pathogens involve a great risk of causing foodborne disease [91].

Byrne et al. [23] found high counts of total viable microorganisms (133 CFU/m^3) and the presence of fecal coliforms (8 CFU/m^3) and *Staphylococcus aureus* (8 CFU/m^3) in a study on air microbial contamination during processing of pork meat in a burger manufacturing plant. These contaminants were found in all production areas of the plant even though they were physically separated.

Also, Taboada et al. [129] found air microbial counts as high as $1,990 \text{ CFU/m}^3$, with an average value of 223 CFU/m^3 , in a class 100,000 clean room dedicated to slicing and packaging of meat products.

Another study of Prendergast et al. [101] on Irish cattle slaughterhouses confirmed that the air is a potential vector of bacterial contamination and showed the need for physical segregation of the contaminated and clean zones. These authors also showed that the air circulation systems have to be designed to direct the airflow from the clean areas to dirty areas. In addition, a slaughterhouse design with the product flow in a straight line and in only one floor with an effective means of separating dirty and clean areas was found to be the best system for reducing air-transmitted bacteria.

Ocon et al. [97] found a high incidence of molds of *Aspergillus* spp. and *Penicillium* spp. in cellar areas of wine industries where barrels and bottled wine were stored. This could be a risk factor with respect to cork taste in wine. According to these authors, the design and layout of the winery spaces, as well as the corresponding air conditioning systems, are considered important factors in the colonization of the environment by some molds.

Also the works of Carrasco et al. [25] and Buncic and Sofos [17] confirm that the air is a means of recontamination and cross-contamination by *Salmonella* spp. in food processing plants (such as chocolate and meat products), even in refrigerated rooms with low temperatures. This is due to the presence of contaminated dust and water droplets which are formed, for example, when the carcasses are sprayed during chilling or washing [17].

Recontamination can also occur after processing the food, once the microorganisms in the product have been inactivated, for example, during packaging of food. Actually, the recontamination by pathogens is a common cause of outbreaks of foodborne diseases [79]. In fact, air recontamination has led to outbreaks caused by food contaminated by air-transmitted pathogens in various products such as pasteurized milk, powdered infant formula, breakfast cereals, sausages, or butter [104].

Thus, the most significant deterioration of pasteurized milk is due to recontamination with psychrotrophic Gram-negative bacteria after heat treatment [50]. Although levels

of psychrotrophic bacteria in the air are generally low, a single viable cell per package is only needed for spoiling the packaged product. This recontamination occurs during the non-aseptic filling process when milk is in contact with the surrounding air, and with its aerosols. Another problem caused by the polluted air in the filling of UHT milk is the presence of the fungus *Fusarium oxysporum* inside containers, which makes the milk taste similar to the blue cheese. Once this fungus has polluted a filling machine, it is difficult to remove [131]. Also, in the milk aseptic filling plants, after UHT treatment, the two most important sources of contamination of the product are the tube seals and the filtered air supply unit in aseptic packaging machines [131]. However, if the air conditioning facilities are properly designed and maintained, the influence of microorganisms in the air on the microbial spoilage of milk is of minor importance [50].

The molds can grow on air filters, in the insulation materials, in cooling coils where air moisture condenses, as well as in air distribution ducts. This contamination often contributes to the spread of human infectious diseases and hypersensitivity diseases such as allergic rhinitis, asthma, and hypersensitivity pneumonitis [22]. In addition, acute intoxication and cancer have been attributed to respiratory exposure to mycotoxins [33, 127].

Fungal contamination of air treatment units is a phenomenon with a wide spreading in climate buildings and a potential source of contamination of food processing and packaging spaces [2].

Other microorganisms such as *L. pneumophila* and *Mycobacterium tuberculosis* are highly infectious and can be transported via aerosols. The contaminated water spraying in humidifiers and evaporative cooling equipments of the HVAC systems is another way of spreading the infection through air. In this process, the role of the HVAC system is very important since contaminated aerosols can be easily distributed throughout the buildings and rooms by the HVAC system [4].

In conclusion, the air and the air conditioning systems should be limited and controlled during food processing, packaging, and storage in order to ensure food safety, food quality, and health of employees. It is necessary to use adequate techniques of protection such as air filtration and clean rooms.

The Hygienic Design of the Air Conditioning and Distribution Systems for Food Processing and Packaging Rooms

According to the work of Keener and Williams [61], the food processing plants have to use appropriate operational practices to ensure safe and healthy foods and to produce food efficiently and in an economically sustainable way.

In addition, significant attention has to be paid in the installation design to maintain proper sanitary conditions for food processing and minimize the potential contamination of product. Specifically, it is necessary to consider certain hygienic characteristics of design, construction, and installation because the air conditioning systems (HVAC systems) have been shown as a source of contamination with pathogenic microorganisms [127].

One way to anticipate this problem is designing properly the air conditioning systems, that is, making a hygienic design of these systems to prevent contamination of food products with microorganisms that cause infections (e.g., *Salmonella*, *Listeria*, *E. coli*), poisoning (e.g., *Staphylococcus aureus*, *Clostridium*), and spoiling the food (e.g., molds, yeasts, lactic acid bacteria, *Pseudomonas*) [42].

Hanssen [57] stated that the success of an air conditioning system working properly depends on the system design and the quality of the components. But unfortunately, little coordination between the engineers and the other professionals responsible for building the factory is frequently found, probably because of a lack of knowledge of the problem. Specifically, these air conditioning systems have to be designed to prevent deposits of dirt and organic material. When these deposits are combined with moisture, they enable the growth of microorganisms that can be transported by airflow through the ducts. The components of air conditioning systems should be designed to permit easy access for cleaning and maintenance of the internal surfaces, and suitable filters should be installed and replaced frequently to avoid the formation of these deposits.

Furthermore, Seppänen [121] emphasized that good indoor air quality and energy efficiency were achieved when qualified designers participated, who understood the requirements for both aspects. Bolashikov and Melikov [13] explained that the spread of pathogens through air conditioning systems is a multidisciplinary problem and therefore different fields of knowledge are needed to solve it. Thus, taking into account the necessary expertise, technical solutions could be given to eliminate the airborne pathogens.

Food safety engineers are trained to solve these engineering problems related to the design of buildings and facilities where foods are processed, packaged, and stored. More specifically, these engineers use a set of rules and knowledge to design and implement food processing plants and have a substantial knowledge of the food hygiene engineering to be applied to the design of equipment, installations, air conditioning, clean rooms, etc. [79].

According to Ben Othmane et al. [7], the control of indoor air quality in the food factories is directly related to the control of deposits of particles in the ventilation ducts. The dust accumulated in the air supply ducts contains

16–20 % organic matter and inorganic elements whose composition is 12 % iron, 0.4 % zinc, 4 % magnesium, and 14 % silicon. This makes dirty ducts a source of nutrients for microorganisms, and therefore, they have to be maintained under optimum conditions by a periodic cleaning. According to these authors, the cleaning has to be carried out in accordance with the rate of deposit of particles in the system. So a criterion to start cleaning could be a dirt accumulation of 400 mg/m² [6]. Depending on the type of food factory, a time interval ranging from 1 to 9 years is recommended for cleaning ducts. But these ranges depend on the type of filters installed in the system, the hygiene requirements needed in the air supply area, and other characteristics of the air [16, 67, 142].

Interestingly, according to a review of Zuraimi [142], the need for duct cleaning has to be carefully evaluated, because generation of pollution and increase in health risks can occur during cleaning. More indoor air pollution than previously can be generated due to resuspension of contaminants existing on the ducts surface before cleaning.

According to a study published by the Food and Drug Administration of USA [44], the four most important food safety problems in food factories are the lack of employee training, the pollution of raw materials, the lack of hygiene in equipment and food processing rooms and facilities, and the lack of hygienic design in equipment and facilities.

Awareness of the food industry about the importance of the hygienic design is still very low [11]. According to EHEDG criteria, several hygiene risks, including air conditioning systems and their components as ducts, should be assessed in the design of buildings for the food industry. So a HACCP test can be made in these systems, which is the best tool to analyze and manage food safety risks [43].

The growth, survival, and spread of harmful microorganisms can be influenced by the air system, which should, among other requirements, be able to eliminate the particles which can transport them (e.g., by filtration) and not act as a source of contamination. Hence, the EHEDG [42] proposed a set of guidelines for air conditioning in the food industries covering the choice of systems, filtration types, system concepts, construction, maintenance, sanitation, testing, commissioning, validation, and system monitoring in order to achieve microbiological quality in food manufacturing.

These systems can also be a source of contamination by *Legionella* spp. So food manufacturing plants may result in an outbreak of Legionnaires' disease and therefore a danger to workers and people living nearby. This reveals the importance of paying attention to the design and management of these installations. Air conditioning equipment with hygienic design is a technology that helps to minimize the microbial load of the finished product so it is an aspect that should not be neglected. An automatic cleaning and

disinfection system (a sort of CIP/SIP system) [130] of the air conditioning and distribution system could be included in the hygienic design to find an adequate frequency of cleaning and disinfection [78].

Microbial Control of the Air by Means of Filtration

Clean Rooms and Microbiologically Controlled Environments for Food Processing and Packaging

The conventional air conditioning systems do not prevent microorganisms from the air intake to the products being processed. To meet this requirement, clean rooms are capable of maintaining a microbiologically controlled environment or enclosure (MCE) that protects the product from contamination [98]. The current standards that provide the basis for clean room classifications are the ISO Cleanroom Standards (14644-1, 2, 3, 4, and 5, for Testing and Qualification, Design and Construction, and Operations) [98]. The aim of these areas is to get a germ-free environment and maintain it during the processing of sensitive products. It is indispensable to filter the air to achieve this goal. Specifically, absolute filters should be used in combination with prefiltration and intermediate filtration stages to ensure a long life of absolute filters. The filtering aims to reduce the concentration of airborne particles carrying microorganisms [53, 54]. Therefore, a reduction in the number of particles will result in a reduction in the concentration of microorganisms. HEPA filters ensure retention of 99.99 % of particles larger than 0.3 μm . But since the filtering is not total, the dirtier the air is circulating through the HVAC system, the greater the number of potentially polluting particles that are present in the ambient. That is, the dirtier the air conditioning system, the greater the pollution that enters the room where the ambient has to be controlled, and more frequent and more expensive the maintenance of the filters. Furthermore, because HEPA filters are easily damaged, great care during installation has to be taken. For example, they have to be firmly fitted in housings to prevent any leakage of air [4].

Besides the concentration of particles in clean rooms, other relevant parameters are controlled as needed, as temperature, humidity, airflow, and pressure [46]. The objective of pressurization is to protect the clean room air from the pollutant that can enter from neighboring spaces. Since filtration alone is not a 100 % effective method to eliminate all viable particles, pressurization is also performed through which air must flow from an area with high hygiene level to another with lower level [4].

Different studies have shown the interest of the use of microbiologically controlled environments or enclosures (MCE). Taboada et al. [129] found a significant increase in the shelf life of meat products cooked without salt (pork

and turkey), sliced, and packaged, when the ultraclean processing was carried out within MCE spaces that have air filtration on HEPA filters and laminar flow regime. The MCE obtained can be equivalent to a class 100 clean room, but the application of filtered air can be located in a space tight to processing and packaging line [79]. The results of Taboada et al. [129] showed an increase of 15 days in the shelf life of the MCE packaged product refrigerated at 4 °C comparing to the same product packaged in a traditional clean room class 100.000.

In another study, Burfoot et al. [21] found that using HEPA filter units to reduce microbial contamination in the air of a room of evisceration of poultry carcasses produced decreases in counts of aerobic microorganisms up to 68 times compared to using unfiltered air.

Filtration is also a useful technique for office buildings. Bluysen et al. [12] listed proper selection and installation of filters in air conditioning systems among other practices as a way to prevent air pollution. This study suggested that factors related to the design and materials of the air-handling systems used could be related to sources of air pollution inside buildings. The study also showed that the occupants of the buildings were a less important source of contamination than the system components.

A Case Study: Slicing and Packaging of Ready-to-eat Meat Products

Food safety is one of the most important issues, facing the food manufacturing and the food service, for an increasing variety of ready-to-eat meals. A minimal processing and mild treatment of decontamination, a cold packaging, and usually without any further heat treatment, nor addition of preservatives, frequently characterizes the ready-to-eat meat products. Therefore, they require refrigeration and are very vulnerable to the microbial alteration and the development of pathogenic microorganisms, which can cause serious problems of shelf life of the product and food safety [77, 136].

In order to obtain a suitable shelf life for these products and to avoid the problems of development of pathogenic microorganisms, the use of ultraclean or aseptic packaging technology is often necessary. In addition, these products have to be, to a certain extent, previously decontaminated [36, 115].

Cold packaging technologies in ultraclean and aseptic conditions have to be performed in packaging rooms and packaging lines working with suitable positive pressure, safe from the contamination, and in suitable conditions of low temperature and relative humidity [53, 54]. For that reason, it is necessary to optimize the design and the operation of the corresponding facilities of cooling and filtration of the air that enters in these rooms and flows

through the interior of the packaging equipments [18–20, 42].

In most of the cases, designs include some system of located air supply to apply filtered and clean air on the food, which is in this way protected from the recontamination [77]. If the temperature of the food is low, the temperature of the air also must be low. For example, in the meat industry, the temperature of the meat products must stay at 5 °C or less during packaging. But, the standards of safety and health can recommend, if food safety is not committed, that air temperature of the packaging rooms to be around 13 °C or more [42].

Indeed, the located systems of clean and filtered air supply offer the possibility of fulfilling both restrictions, since the air that is applied on the product can be at lower temperature than the air of the room where the food is being processed and packaged [18–20, 53, 54]. In a work of Sanchez et al. [118], a class 100 [47, 98] packaging line cover or MCE enclosure was studied, analyzing its influence on quality and shelf life of cooked meat sliced products. The quality and shelf life obtained with this located supply system of clean and filtered air were better when compared to those obtained in a packaging line installed in a clean room without this kind of MCE (based on a class 100 cover).

Role of Air Temperature and Relative Humidity (RH) Properly designed air-handling systems control airborne particles and odors and minimize the risks to products from microbial airborne contamination. Temperatures below 13 °C should be used, since higher temperatures are hazardous for the safety of meat products. It is also very important to reduce the variability of air temperature and RH because these parameters have a great influence on room air contamination. The experimental data obtained by Sanchez et al. [119] for a slicing and packaging class 100.000 clean room emphasize the great variations of temperature and RH that can be found in the meat industries, with maximum and minimum values being 25 % higher and lower than the average for both parameters. Moreover, temperatures below 6 °C and RH below 50 % should be used in order to avoid condensations on the product surface, since the temperature of the products is normally $-1/-2$ °C for adequate processing (Table 1).

Influence of People Working in the Clean Rooms The presence of people has an important influence on the quality of air of the clean rooms because people generate particles that contain microorganisms and people also generate heat that has to be removed by the refrigeration equipment [20, 71, 98].

Sanchez et al. [120] counted the particles in the air in selected points of a class 100.000 clean room and showed that the values varied according to the conditions of work and number of people working in the room. The particle counts were those corresponding to a 100.000 class room (after the standard FS 209E and 8 class room after the ISO standards) [98] if the equipment and all necessary people were working. But the advisable class of clean room for this kind of meat products in processing and packaging steps would be class 10.000. This class can be achieved if the equipment is off and the room is empty of people. The clothes of the workers have great importance, since a person with normal clothes generates 30,000,000 particles of a diameter ≥ 5 μm per minute, and the same person provided with special clean room clothes only generates a negligible amount of particles per minute [71]. Also Sanchez et al. [120] observed that when the number of people (with not totally stringent and closed clothes) in the clean room increased, the number of particles per m^3 of air increased progressively. In these conditions, a proper protection of the product against possible cross-contaminations was obtained when the line was covered with a Fan Filter Unit (FFU) cover to obtain a microbiologically controlled air [119] (Table 2).

Relation Between Air Contamination and the Contamination of the Food Surface The air is a source of contamination during the food product processing and packaging processes. If the amount of colony-forming units (CFU)/ m^3 of air increases in the processing and packaging clean room, then the probable airborne contamination falling on the open trays containing the sliced meat product increases. Sánchez et al. [119] even developed an equation to predict the probable number of CFU falling on an open tray containing a sliced meat product from the concentration of CFU per m^3 of air. The probable CFU falling on the open tray containing the sliced meat product was calculated as follows (as CFU/tray):

Table 1 Air temperature and RH, air speed, and air dew point obtained in a meat products slicing and packaging clean room class 100.000

Temperature (°C)			RH (%)			Air speed (m/s)			Dew point
Aver.	Max.	Min.	Aver.	Max.	Min.	Aver.	Max.	Min.	
9.47	12.00	7.50	57.25	67.00	47.25	2.96	3.30	2.10	1.0

The data refer to average (Aver.), maximum (Max.), and minimum (Min.) values of the air characteristics in the clean room. Data from Sanchez et al. [120]

Table 2 Variation of clean room class (according to FS 209E and ISO standards), as a function on people working in the room

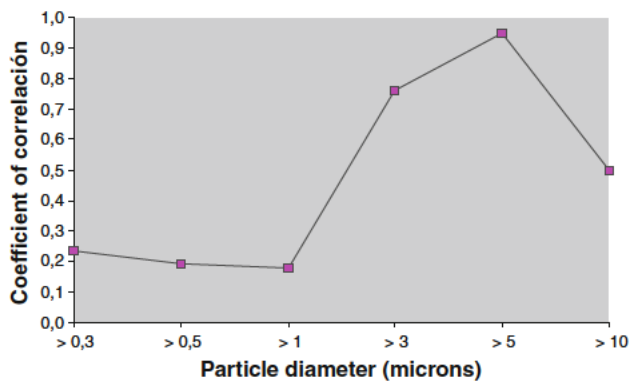
Class of the clean room without people		Class of the clean room with five people	
FS	ISO	FS	ISO
10.000	7	100.000	8

Data from Sanchez et al. [120]

Table 3 Relation between air contamination (CFU/m³ of air) in a clean room and the probable airborne contamination falling on the open trays containing the food product

	Colony forming units/m ³ of air	Colony forming units/tray
Average	223	1.1
Maximum	1.990	9.8
Minimum	<10	<0.5

Data for a meat product slicing and packaging clean room, from Sanchez et al. [119]

**Fig. 5** Variation of the coefficient of correlation (r^2) between the size of particles (μm) in the air and the microbial counts (CFU/m³ of air) in the CCR air [119]

$$\begin{aligned}
 &[\text{CFU/m}^3 \text{ of air} \times \text{slice surface (0.0246 m}^2/\text{slice)} \\
 &\times \text{air speed (2.96 m/s)} \times \text{exposition time (10 s)}] \\
 &\times [\text{amount of slices/tray}]
 \end{aligned}$$

The calculation is made for 10 s of exposition of the product to the environmental air contamination, with an average speed of the air of 2.96 m/s [119] (Table 3).

Influence of Particles Size on the Air and Airborne Contamination Studies of some researchers conclude that the average size of the particles carrying microorganisms comprised between 5 and 20 μm in diameter [135]. Sánchez et al. [119] showed an average diameter of particles containing microorganisms of 12–14 μm . As an example, the correlation between the size of particles and microbial

counts in the air of a class 100.000 clean room dedicated to meat products slicing and packaging is shown in Fig. 5 [119]. In this case, the greater correlations are obtained for diameters between 3 and 10 μm .

Use of MCE with Filtered Air Located in a Space Tight to Processing and Packaging Line The use of localized FFU covers or another air filtering solution [77] to create an MCE class ISO 5 tight to the processing and packaging line would be of very useful to control the microbial counts in the packaged sliced meat product. It is possible to place the FFU cover in critical positions on the slicing and packaging line in order to control the airborne recontamination of the sliced meat products before closing and thermo-sealing of the package. It is possible to obtain a very good protection of the product against airborne contamination in MCE with air counts lower than 1 CFU/m³ and when the distance of FFU to the work plane is less than 75 cm. In fact, an EMC class ISO 5 (equivalent to a clean room class ISO 5 or 100 after FS 209E) [98] is obtained under these circumstances. With the FFU cover at less than 1.25 m over the work plane, a great effectiveness of the quality control in the air with values of CFU/m³ lower than 1 and values of 0.5 μm particles/m³ lower than 10 can be also obtained. If the distance of FFU to the work plane is about 150 cm, the class of the clean room is 1.000 (after FS 209E) [18, 20, 53, 54, 119].

There are great differences between the average values of the microbial contamination of products working in MCE ISO 5 and those obtained in a traditional clean room class 10.000 or 100.000. The use of FFU covers implies a control of the microorganisms falling on the surfaces of the work plane and on the open trays with the food product. Table 4 shows that lower values of CFU/g are obtained working with FFU cover than with traditional clean room (TCR). It is shown that the percentage of meat products with values lower than 10¹ CFU/g increases when working with FFU covers, and the percentage of products with values higher than 10^{3–4} CFU/g decreases. This decrease in the microbial counts of the packaged product, when working with FFU covers, leads to an increase in the shelf life (see Table 5). In fact, according to Sanchez et al. [119], an increase in the shelf life of 3–4 days is obtained in products stored at 11 °C and of 12–18 days if the product is cold stored at 4 °C when applying these MCE ISO 5 enclosures in slicing and packaging of meat products.

In conclusion, FFU covers allow a located control of the air quality in the processing and packaging line. The particles and microorganisms are not transported from the different sources of contamination (workers, air of the room, ground, slicing machine, conveyor belts, and packaging and thermo-sealing equipments) [77]. These covers enable a processing and packaging room with several

Table 4 Microbial counts in cooked meat products working in TCR and in MCE ISO 5 using FFU covers [119]

	Cooked Pork ham		Cooked turkey meat	
	TCR	FFU covers	TCR	FFU covers
Average (CFU/g)	1.85e + 03 (N 85)	6.70e + 02 (N 11)	5.22e + 02 (N 82)	1.09e + 02 (N 28)
% Samples <10	3	9	7	25
% Samples 10–10 ²	27	45	33	54
% Samples 10 ² –10 ³	30	18	33	21
% Samples 10 ³ –10 ⁴	33	27	27	
% Samples >10 ⁴	6			

N number of replications

Table 5 Relation between microbial count of the packaged product and the shelf life (stated by a final microbial count >6 Log CFU/g) for cooked pork ham and cooked turkey meat sliced and packaged using a TCR and a MCE ISO 5 enclosures based on FFU covers [119]

	Log (CFU/g)	Shelf life at 11° C (days)	Shelf life at 4° C (days)
<i>Cooked pork ham</i>			
TCR			
*Average	3.1	5.1	18.6
Maximum	4.0	10.0	50.0
Minimum	1.5	2.0	10.0
FFU cover			
**Average	1.1	7.8	35.0
Maximum	2.9	10.0	40.0
Minimum	0.0	7.0	30.0
<i>Cooked turkey meat</i>			
TCR			
***Average	2.1	7.2	32.3
Maximum	3.4	17.0	80.0
Minimum	0.0	4.0	20.0
FFU cover			
****Average	1.5	10.3	49.2
Maximum	2.8	20.0	80.0
Minimum	0.0	5.0	25.0

TCR is a traditional clean room class 100.000

* It were no obtained values <10 CFU/g

** 60 % of the samples with values <10 CFU/g

*** 9 % of the samples with values <10 CFU/g

**** 17 % of the samples with values <10 CFU/g

slicing and packaging lines without separation walls among them. A strict control of air HR and temperature in contact with the product due to the absence of workers within the filtered airflow is possible. Working with the FFU covers or other MCE systems, it is possible to effectively diminish the contamination of packaged meat products and to achieve an important increase in the shelf life of the cold-stored and

packaged product. In fact, Sanchez et al. [119] obtained an increase of 50 % in shelf life for cold-stored cooked pork ham and 40 % in shelf life increase for cooked turkey meat (see Table 5).

Microbial Control in the Air and Water by Means of UV Lamps

The use of UV lamps has been studied for controlling fungi, which contaminate the indoor air and the surfaces of the air treatment units in public buildings. However, neither the reduction in spore viability nor the sensitivity of these fungi to irradiation with UV-C light in these systems has been shown [72].

Another study on the effect of ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) in the airflow contamination in ducts of HVAC systems showed the feasibility of this method to decrease the number of airborne microorganisms (bacteria and fungi) in the indoor air streams [88]. However, the surfaces of these systems can accumulate dirt and moisture, enabling the growth of harmful microorganisms and its transport inside the rooms of the building. Hence, these authors stated the need for an appropriate design of HVAC systems to maximize the germicidal efficacy of the ultraviolet radiation.

This air disinfection method hardly inactivates spores of microorganisms, for example, *Bacillus* spp. Pathogens can survive the germicidal effect of the UV lamps in humid environments, as the water vapor can cause interferences in radiation [64]. Besides this, any UVGI equipment needs frequent maintenance due to the dust settled on the lamp which reduces the irradiation and for controlling the fused lamps. For these reasons, UVGI radiation is only accepted as complementary protection in filtering systems for controlling the spread of microorganisms [4].

For the treatment of the air evacuated from the cooking processes, Alexandrova [3] recommends the use of UV-C lamps in combination with multistage filtering systems to combat the problems of fire risk and odors caused by the

molecules carried in the air. This technique enables to decrease the frequency of cleaning of the air exhausting ducts. However, these systems are expensive and hazardous to human health, because of ultraviolet light and the emission of ozone during the processes of degradation of the molecules treated.

Photocatalytic oxidation (PCO) with ultraviolet germicidal irradiation (UVGI) is a technique already used in the food industry to eliminate odors and also having application for microbial control of indoor air. It can inactivate any airborne microorganisms able to spoil a food product. This technique is based on chemical oxidation using usually titanium dioxide in the presence of an ultraviolet light source. Under optimal conditions, all the contaminants removed are converted into water and CO₂. However, the conversion process of contaminants can release harmful chemicals as various aldehydes [13].

According to Kim et al. [63], UV irradiation alone is also ineffective to control *Legionella* in cooling water of evaporative coolers and humidifiers because of the lack of disinfectant residual and the interference with UV light transmittance by various materials (biofilm, deposits, turbidity, etc.). However, photocatalytic oxidation (PCO) was proven to be efficacious in the inactivation of *L. pneumophila* serogroup 1 Strains 977, 1009, 1014, and ATCC 33153 in clear hot water distribution systems [28], but not with dirty water of evaporative coolers [52].

Microbial Control in the Air by Means of Essential Oils Aerosolization

New methods for controlling bacterial contamination in food are being researched using the vapor from natural essential oils such as cinnamon or cloves [55]. These oils release compounds such as eugenol, which exhibits antimicrobial activity against Gram-positive and Gram-negative bacteria that can cause food poisoning and could serve as a means of extending the shelf life of the food.

The use of these essential oils in industrial ventilation systems is under study at present, but its application is still undergoing scientific tests [29]. The vaporization of essential oils may affect the quality of air when used in indoors, particularly under poor ventilation [84]. Thus, some unhealthy carbonyl species such as formaldehyde and valeraldehyde were measured at low temperature during the vaporization of essential oils, indicating a potential effect on air quality and human health [29]. Another remarkable drawback for its application in air disinfection is the hypersensitivity of some people to certain essential oils (thyme, mint, oregano, etc.) and the fact that some of them also show cytotoxic activity [13].

Final Remarks

The lack of hygienic design of traditional air conditioning system elements (mainly air-handling systems, humidifiers, and air distribution ducts) and refrigeration system elements (mainly evaporative coolers, as evaporative condensers and cooling towers) is remarkable. This usually leads to ineffective cleaning and disinfection operations in these systems that can cause air contamination and significant economic losses due to contamination of the packaged foods. Also airborne pathogens could contaminate packaged food and cause diseases (such as legionellosis and others produced by molds or bacteria) in people, employees, or visitors, or in the final food consumers. The hygienic design of evaporative coolers (evaporative condensers and cooling towers) emerges as a new and effective way for controlling *Legionella* and air contamination. The air filtering systems for clean rooms and MCE systems for serving to food processing and packaging lines will be more efficient if the hygienic design of all elements of the air conditioning and distribution systems is properly studied and performed. It has been highlighted that the microbial control by means of UV lamps and filtration is more effective if the air conditioning systems and refrigeration systems have hygienic design. The interest of the MCE systems for food processing and packaging has been clearly shown in general, and in particular, for the case of slicing and packaging of ready-to-eat meat products, obtaining an extended shelf life and more food safety and quality.

References

1. Abbassi A, Bahar L (2005) Application of neural network for the modeling and control of evaporative condenser cooling load. *Appl Therm Eng* 25:3176–3186
2. Ahearn DG, Crow SA, Simmons RB, Price DL, Mishra SK, Pierson DL (1997) Fungal colonization of air filters and insulation in a multi story office building: production of volatile organics. *Curr Microbiol* 35:305–308
3. Alexandrova A (2010) Extract and cleaning of contaminated air in commercial kitchens. Bachelor Thesis. Mikkeli University of applied Sciences, Finland
4. Anil OB (2008) A research on design of heating, ventilation and air conditioning of hygienic spaces in hospitals. M.S. Thesis, İzmir Institute of Technology, Turkey
5. Asghari S, Johari SA, Lee JH, Kim YS, Jeon YB, Choi HJ, Moon MC, Yu IJ (2012) Toxicity of various silver nanoparticles compared to silver ions in *Daphnia magna*. *J Nanobiotechnol* 10(14):1–14
6. ASPEC (2004) Maintien en propreté des réseaux aéraulique pour salles propre et environnements maîtrisés apparentés. Association pour la prévention et l'étude de la contamination, mars, pp 51–52

7. Ben Othmane M, Havet M, Gehin E, Sollicec C, Arroyo G (2011) Predicting cleaning time of ventilation duct systems in the food industry. *J Food Eng* 105:400–407
8. Benezech T, Lelievre C, Membre JM, Viet AF, Faille C (2002) A new test method for in place cleanability of food processing equipment. *J Food Eng* 54:7–15
9. Bentham RH (2000) Routine sampling and the control of *Legionella* spp. in cooling tower water systems. *Curr Microbiol* 41:271–275
10. Berry D, Xi C, Raskin L (2006) Microbial ecology of drinking water distribution systems. *Curr Opin Biotechnol* 17(3):297–302
11. Betta G (2009) Food hygiene in aseptic processing and packaging systems. PhD Thesis, Università degli studi di Parma, Italy
12. Bluyssen PM, Cox C, Seppänen O, De Oliveira Fernandes E, Clausen G, Müller B, Roulet CA (2003) Why, when and how do HVAC systems pollute the indoor environment and what to do about it? the European AIRLESS project. *Build Environ* 38:209–225
13. Bolashikov ZD, Melikov AK (2007) Methods for indoor air disinfection and purification from airborne pathogens for application in HVAC systems. The sixth international conference on indoor air quality, ventilation & energy conservation in buildings vol 2, pp 565–573
14. Bremer PJ, Fillery S, Mcquillan AJ (2006) Laboratory scale Clean In Place (CIP) studies on the effectiveness of different caustic and acid wash steps on the removal of dairy biofilms. *Int J Food Microbiol* 106:254–262
15. Brooks T, Osicki RA, Springthorpe VS, Saltar SA, Filion L, Abrial D, Riffard S (2004) Detection and identification of *Legionella* species from groundwaters. *J Toxic Environ Health A* 67:1845–1859
16. Brosseau LM, Vesley D, Kuehn TH, Melson J, Han HS (2000) Methods and criteria for cleaning contaminated ducts and air handling equipment. *ASHRAE Trans* 106:188–189
17. Buncic S, Sofos J (2012) Interventions to control *Salmonella* contamination during poultry, cattle and pig slaughter. *Food Res Int* 45:641–655
18. Burfoot D (1999) The importance of air flows in design. In: Khodabandehloo K (ed) European commission 'meat automation' concerted action, FAIR CT 97 1998. Technical Report on Consumer Protection, Labour Safety & Hygiene, pp 8–16
19. Burfoot D (2000) Localised air delivery systems. *Food Process* 6:25–26
20. Burfoot D, Brown K, Xu Y, Reavell SV, Hall K (2000) Localised air delivery systems in food industry. *Trends Food Sci Technol* 11:410–418
21. Burfoot D, Whyte RT, Tinker DB, Hall K, Allen VM (2007) A novel method for assessing the role of air in the microbiological contamination of poultry carcasses. *Int J Food Microbiol* 115:48–52
22. Burge HA (1990) Bioaerosols: prevalence and health effects in the indoor environment. *J Allergy Clin Immunol* 86:687–701
23. Byrne B, Lyng J, Dunne G, Bolton DJ (2008) An assessment of the microbial quality of the air within a pork processing plant. *Food Control* 19:915–920
24. Carducci A, Verani M, Battistini R (2010) *Legionella* in industrial cooling towers: monitoring and control strategies. *Lett Appl Microbiol* 50:24–29
25. Carrasco E, Morales Rueda A, García Gimeno RM (2012) Cross contamination and recontamination by *Salmonella* in foods: a review. *Food Res Int* 45:545–556
26. Castano A, Hernández E, López Gómez A, Palop A (2007a) Necesidad del diseño higiénico en torres de enfriamiento y condensadores evaporativos. In: Afonso C et al. (ed) *Avanço nas Ciências e Técnicas do Frio* IV. Porto, Portugal
27. Castano A, Hernández ME, López Gómez A, Palop A (2007b) Presence of *Legionella pneumophila* in evaporative condensers and its relation with the characteristics of the water. In: IIR (ed) ICR 2007, refrigeration creates the future, Beijing, China
28. Cheng YW, Chan RY, Wong PK (2007) Disinfection of *Legionella pneumophila* by photocatalytic oxidation. *Water Res* 41(4):842–852
29. Chiang HM, Chiu HH, Lai YM, Chen CY, Chiang HL (2010) Carbonyl species characteristics during the evaporation of essential oils. *Atmos Environ* 44:2240–2247
30. Chisti Y, Murray M (1994) Clean in place systems for industrial bioreactors: design, validation and operation. *J Ind Microbiol Biotechnol* 13:201–207
31. Chmielewski R, Frank JF (2003) Biofilm formation and control in food processing facilities. *Compr Rev Food Sci* 2:22–32
32. Clodic D, Zoughaib A, Merchat M, Fassi L (2005) Method and system for supplying water to cooling towers. Patent WO2005 124253 (A1)
33. Croft WA, Jarvis BB, Yatawara CS (1986) Airborne outbreak of trichothecene toxicosis. *Atmos Environ* 20:549–552
34. Damm C, Münstedt H, Rösch A (2008) The antimicrobial efficacy of polyamide 6/silver nano and microcomposites. *Mater Chem Phys* 108:61–66
35. Delgado K, Quijada R, Palma R, Palza H (2011) Polypropylene with embedded copper metal or copper oxide nanoparticles as a novel plastic antimicrobial. *Lett Appl Microbiol* 53:50–54
36. Den Aantrekkera ED, Beumera RR, Van Gerwenb SJC, Zwie teringc MH, Van Schothorsta M, Boom RM (2003) Estimating the probability of recontamination via the air using Monte Carlo simulations. *Int J Food Microbiol* 87:1–15
37. Devos L, Boon N, Verstraete W (2005) *Legionella pneumophila* in the environment: occurrence of a fastidious bacterium in oligotrophic conditions. *Rev Environ Sci Biotechnol* 4:61–74
38. Edelstein PH, Meyer RD (1994) *Legionella pneumonias*. In: Pennington JE (ed) *Respiratory infections: diagnosis and management*, 3rd edn. Raven Press, New York, pp 455–484
39. EHEDG (2002) The prevention and control of *Legionella* spp (incl Legionnaire's Disease) in food factories. CCFRA Technology Ltd. Doc 24, 24p
40. EHEDG (2004a) A method for assessing the in place cleanability of food processing equipment, 3rd edn. CCFRA Technology Ltd. Doc 2, 14p
41. EHEDG (2004b) Hygienic equipment design criteria, 2nd edn. CCFRA Technology Ltd Doc 8, Chipping Campden, UK
42. EHEDG (2006) Guidelines on air handling in the food industry. *Trends Food Sci Technol* 17:331–336
43. EHEDG (2007) Integration of hygienic and aseptic systems. *Trends Food Sci Technol* 18:48–58
44. ERG (2004) Good manufacturing practices (gmps) for the 21st century. Food processing. Erickson Research Group, FDA Study, USA
45. European Commission (2003) Ventilation, good indoor air quality and rational use of energy, report no 23. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg
46. Falini R, Moia E (1993) Clean rooms the future. *Latte* 18(6):682–685
47. Federal Standard (1992) Airborne particulate cleanliness classes in clean rooms and clean zones. FED STD 209E
48. Fields BS (1996) The molecular ecology of *Legionellae*. *Trends Microbiol* 4:286–290
49. Fraser DW, Tsai TR, Orenstein W, Parkin WE, Beecham HJ, Sharrar RG, Harris J, Mallison GF, Martin SM, McDade JE, Shepard CC, Brachman PS (1977) Legionnaires' disease. Description of an epidemic of pneumonia. *New Engl J Med* 297:1189–1197

50. Fredsted LB, Rysstad G, Eie T (1996) Pure LacTM the new milk with protected freshness and extended shelf life. In: Proceedings of the IDF symposium 1995: heat treatments and alternative methods. International Dairy Federation, Brussels, pp 104–125
51. Fujii J, Yoshida S (1998) *Legionella* infection and control in occupational and environmental health. Rev Environ Health 13: 179–203
52. Gamage J, Zhang ZS (2010) Applications of photocatalytic disinfection. Int J Photoenergy Article ID 764870:1–11
53. García MM, López Gómez A, Palop A, Esnoz A (2002) Correlación entre número de partículas y microorganismos en locales de proceso de elaboración de ensaladas mínimamente procesadas. In: López Gómez A et al. (eds) Avances en Ciencias y Técnicas del Frío I. Proc I Congreso Espanol de Ciencias y Técnicas del Frío. Cartagena, Spain
54. García MM, López Gómez A, Esnoz A, Ros M (2003) Modelización de salas blancas refrigeradas para envasado y procesamiento mínimo de alimentos. In: Fernández Seara J (ed), Avances en Ciencias y Técnicas del Frío II. Proc II Congreso Espanol de Ciencias y Técnicas del Frío, Vigo, Spain
55. Goni P, López P, Sánchez C, Gómez Lus R, Becerril R, Nerín C (2009) Antimicrobial activity in the vapour phase of a combination of cinnamon and clove essential oils. Food Chem 116: 982–989
56. Green PN (1993) Efficacy of biocides on laboratory generated *Legionella* biofilms. Lett Appl Microbiol 17:158–161
57. Hanssen SO (2004) HVAC the importance of clean intake section and dry air filter in cold climate. Indoor Air 14(7): 195–201
58. Hyttinen M, Pasanen P, Bjorkroth M, Kallioikoski P (2007) Odors and volatile organic compounds released from ventilation filters. Atmos Environ 41:4029–4039
59. IDAE (2007) Comentarios al Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE 2007). IDAE, Madrid. www.idae.es. Accessed 14th Aug 2012
60. ISOVER (2009) Manual de Conductos de aire acondicionado Climaver. ISOVER Saint Gobain Cristalería, S.A. Madrid, Spain, www.isover.net. Accessed 14th Aug 2012
61. Keener KM, Williams GD (2008) Operational practices in food processing plants. In: Proceedings of the ASABE annual international meeting, Providence, USA
62. Kienboeck M, Podhorsky M (2004) Packing element for cooling towers. Patent EP1452821 (A1)
63. Kim BR, Anderson JE, Mueller SA, Gaines WA, Kendall AM (2002) Literature review efficacy of various disinfectants against *Legionella* in water systems. Water Res 36:4433–4444
64. Knudson GB (1986) Photoreactivation of ultraviolet irradiated, plasmid bearing, and plasmid free strains of *Bacillus anthracis*. Appl Environ Microbiol 52:444–449
65. Kramer MH, Ford TE (1994) Legionellosis: ecological factors of an environmentally new disease. Zentralbl Hyg Umweltmed 195(5–6):470–482
66. Kurtz JB, Bartlett CL, Newton UA, White RA, Jones NL (1982) *Legionella pneumophila* in cooling water systems. J Hyg 88: 369–381
67. Lavoie J, Bahloul A, Cloutier Y, Gravel R (2007) Cleaning initiation criteria for heating, ventilation and air conditioning (HVAC) systems in non industrial buildings. In: Proceedings of the Clima 2007 WellBeing Indoors, Helsinki, Finland
68. Lau HY, Ashbolt NJ (2009) The role of biofilms and protozoa in *Legionella* pathogenesis: implications for drinking water. J Appl Microbiol 107:368–378
69. Lee JV, West AA (1991) Survival and growth of *Legionella* species in the environment. Soc Appl Bacteriol Symp Ser 20: 121S–129S
70. Lelievre C, Legentilhomme P, Gaucher C, Legrand J, Faille C, Benezech T (2002) Cleaning in place: effect of local wall shear stress variation on bacterial removal from stainless steel equipment. Chem Eng Sci 57:1287–1297
71. Leveau JY, Bouix M (2002) Manual técnico de higiene, limpieza y desinfección. AMV Ed MundiPrensa, Madrid
72. Levetin E, Shaughnessy R, Rogers CA, Scheir R (2001) Effectiveness of germicidal UV radiation for reducing fungal contamination within air handling units. Appl Environ Microbiol 67(8):3712–3715
73. López Gómez A (2007a) Diseño Higiénico de los sistemas frigoríficos y de acondicionamiento de aire. In: Afonso C et al. (eds) Avanço nas Ciências e Técnicas do Frio IV, Porto, Portugal
74. López Gómez A (2007b) Emerging refrigeration technologies in food processing and packaging. In: Ruivo C, Fernandez Seara J (eds) Advances in engineering of HVAC&R, Faro, Portugal
75. López Gómez A (2008) Condensador evaporativo higiénico y automático. Spanish Patent ES 2 286 941 B2
76. López Gómez A, Barbosa Cánovas GV (2005) Food plant design. CRC Press, NY, USA
77. López Gómez A, Ros Chumillas M (2005) Acondicionamiento del aire de locales y equipos de envasado ultralimpio y aséptico de alimentos listos para su consumo (ready to eat). In: Ruiz Mansilla R (ed) Avances en ciencias y técnicas del frío III. Proc III Congreso Espanol de Ciencias y Técnicas del Frío, Barcelona, Spain
78. López Gómez A, Palop A, Hernández ME, Castano AM (2007) Hygienic and automatic evaporative cooler. Patent WO 2007135219 (A1)
79. López Gómez A, Fernandez PS, Palop A, Periago PM, Martínez López A, Marín Iniesta F, Barbosa Cánovas GV (2009) Food safety engineering: an emergent perspective. Food Eng Rev 1(1):84–104
80. López Gómez A, Castano Villar AM, Hernández Hernández ME, Palop A (2011) Innovative evaporative coolers, cooling towers and evaporative condensers, with hygienic design. In: Proceedings of the 23rd IIR international congress of refrigeration, Prague, Czech Republic
81. Maggy NB, Makala N (2004) Comparing the effect of various pipe materials on biofilm formation in chlorinated and combined chlorine chloraminated water systems. Water SA 30(2): 175–182
82. Markarian J (2006) Steady growth predicted for biocides. Plast Addit Compd 8(1):30–33
83. Marston BJ, Plouffe JF, File TM Jr, Hackman BA, Salstrom SJ, Lipman HB, Kolczak MS, Breiman RF (1997) Incidence of community acquired pneumonia requiring hospitalization. Results of a population based active surveillance study in Ohio. The community based pneumonia incidence study group. Arch Intern Med 157:1709–1718
84. Martins PF, Sbaite P, Benites C, Wolf Maciel MR (2011) Thermal characterization of orange, lemongrass, and basil essential oils. Chem Eng Trans 24:463–468
85. Maus R, Goppelsröder A, Umhauer H (2001) Survival of bacterial and mold spores in air filter media. Atmos Environ 35: 105–113
86. McDeirmid AS, Lever MS (1996) Survival of *Salmonella enteritidis* PT4 and *Salmonella typhimurium* Swindon in aerosols. Lett Appl Microbiol 23:107–109
87. McCoy WF (1998) Imitating natural microbial fouling control. Mater Perform 37:45–48
88. Menetrez MY, Foarde KK, Dean TR, Betancourt DA (2010) The effectiveness of UV irradiation on vegetative bacteria and fungi surface contamination. Chem Eng J 157:443–450

89. Moens E (2002) The prevention and control of *Legionella* spp. (including Legionnaires' disease) in food factories. Trends Food Sci Technol 13:380–384
90. Möritz M, Peters H, Nipko B, Rüdén H (2001) Capability of air filters to retain airborne bacteria and molds in heating, ventilating and air conditioning (HVAC) systems. Int J Hyg Environ Health 203:401–409
91. Mothershaw AS, Al Raisi AN (2008) Air as a source of bacterial contamination in a slaughterhouse prior to implementation of hygienic control systems. Int J Postharvest Technol Innov 1(3): 337–347
92. Mouchtouri VA, Goutziana G, Kremastinou J, Hadjichristodoulou C (2010) *Legionella* species colonization in cooling towers: risk factors and assessment of control measures. Am J Infect Control 38:50–55
93. Muhič S, Butala V (2004) The influence of indoor environment in office buildings on their occupants: expected unexpected. Build Environ 39:289–296
94. Murga R, Forster TS, Brown E, Pruckler JM, Fields BS, Donlan RM (2001) Role of biofilms in the survival of *Legionella pneumophila* in a model potable water system. Microbiol 147: 3121–3126
95. Neil K, Berkelman R (2008) Increasing incidence of legionellosis in the United States, 1990–2005: changing epidemiologic trends. Clin Infect Dis 47:591–599
96. Nowack B, Krug HF, Height M (2011) 120 years of nanosilver history: implications for policy makers. Environ Sci Technol 45:1177–1183
97. Ocon E, Gutierrez AR, Garijo P, Santamaria P, Lopez R, Olarte C, Sanz S (2011) Factors of influence in the distribution of mold in the air in a wine cellar. J Food Sci 76:169–174
98. Odum JN (2004) Sterile product facility design and project management, Chap 7, 2nd edn. CRC Press, Boca Raton, FL, pp 181–216
99. Pearce RA, Sheridan JJ, Bolton DJ (2006) Distribution of airborne microorganisms in commercial pork slaughter process. Int J Food Microbiol 107:186–191
100. Piao Z, Sze CC, Barysheva O, Iida K, Yoshida S (2006) Temperature regulated formation of mycelial mat like Biofilms by *Legionella pneumophila*. Appl Environ Microbiol 72:1613–1622
101. Prendergast DM, Daly DJ, Sheridan JJ, McDowell DA, Blair IS (2004) The effect of abattoir design on aerial contamination levels and the relationship between aerial and carcass contamination levels in two Irish beef abattoirs. Food Microbiol 21:589–596
102. Prince EL, Muir AV, Thomas WM, Stollard RJ, Sampson M, Lewis JA (2002) An evaluation of the efficacy of Aqualox for microbiological control of industrial cooling tower systems. J Hosp Infect 52:243–249
103. Qureshi BA, Zubair SM (2006) A comprehensive design and rating study of evaporative coolers and condensers. Part I. Performance evaluation. Int J Refrig 29:645–658
104. Reij MW, Den Aantrekker ED (2004) Recontamination as a source of pathogens in processed foods. Int J Food Microbiol 91:1–11
105. Ren C, Yang H (2006) An analytical model for the heat and mass transfer processes in indirect evaporative cooling with parallel/counter flow configurations. Int J Heat Mass Transfer 49:617–627
106. Robine E, Boulangé Petermann L, Derangère D (2002) Assessing bactericidal properties of materials: the case of metallic surfaces in contact with air. J Microbiol Meth 49: 225–234
107. Robine E, Lacaze I, Moularat S, Ritoux S, Boissier M (2005) Characterisation of exposure to airborne fungi: measurement of ergosterol. J Microbiol Meth 63:185–192
108. Rodríguez Zaragoza S (1994) Ecology of free living amoebae. Crit Rev Microbiol 20:225–241
109. Rogers J, Dowsety AB, Dennis PJ, Lee JV, Keevil CW (1994) Influence of temperature and plumbing material selection on biofilm formation and growth of *Legionella pneumophila* in a model potable water system containing complex microbial flora. Appl Environ Microbiol 60:1585–1592
110. Rogers J, Dowsety AB, Dennis PJ, Lee JV, Keevil CW (1994) Influence of plumbing materials on biofilm formation and growth of *Legionella pneumophila* in potable water systems. Appl Environ Microbiol 60:1842–1851
111. Rohr U, Weber S, Michel R, Selenka F, Wilhelm M (1998) Comparison of free living amoebae in hot water systems of hospitals with isolates from moist sanitary areas by identifying genera and determining temperature tolerance. Appl Environ Microbiol 64:1822–1824
112. Ros Chumillas M, Belisario Sánchez Y, Iguaz A, López Gómez A (2007) Quality and shelf life of orange juice aseptically packaged in PET bottles. J Food Eng 79(1):234–242
113. Rosmaninho R, Santos O, Nylander T, Paulsson M, Beuf M, Benezech T, Yiantisios S, Andritsos N, Karabelas A, Rizzo G, Muller Steinhagen H, Melo LF (2007) Modified stainless steel surfaces targeted to reduce fouling evaluation of fouling by milk components. J Food Eng 80:1176–1187
114. Rota MC, Caporali MG, Massari M (2004) European working group for *Legionella* infections. European guidelines for control and prevention of travel associated legionnaires' disease: the Italian experience. Euro Surveill 9:10–11
115. Rouaud O (2002) Etudes numériques et expérimentales de dispositifs de protection contre la contamination aéroportée dans les industries alimentaires. PhD thesis, ENITIAA, Nantes, France
116. Rowbotham TJ (1980) Preliminary report on the pathogenicity of *Legionella pneumophila* for freshwater and soil amoebae. J Clin Pathol 33:1179–1183
117. Rowbotham TJ (1986) Current views on the relationships between amoebae, *Legionellae* and man. Isr J Med Sci 22:678–689
118. Sánchez E, Cava R, Taboada A, Marín F, López Gómez A (2007a) Influencia de la limpieza del aire y de las superficies en instalaciones de envasado sobre la vida útil de productos agroalimentarios. In: Proc V Congreso Iberoamericano de Tecnología Poscosecha y Agroexportaciones, Cartagena, Spain
119. Sánchez E, Marín F, López Gómez A (2007b) Effect of the cleaning control in air and surfaces, within packaging facilities, on the shelf life of sliced meat products. In: Proceedings of the XXII international congress of refrigeration, Beijing, China
120. Sánchez E, Marín F, López Gómez A (2007c) Vida útil de la carne fresca de cerdo y ternera. Influencia del envasado y la temperatura de conservación. In: Afonso C et al. (eds) Avança nas Ciências e Técnicas do Frio IV, Porto, Portugal
121. Seppänen O (2008) Scientific basis for design of ventilation for health, productivity and good energy efficiency. In: Proceedings of the international conference on indoor air quality and climate, Copenhagen, Denmark
122. Spurlock AT, Zottola EA (1991) The survival of *Listeria monocytogenes* in aerosols. J Food Prot 54:910–912
123. Srikanth S, Berk SG (1994) Adaptation of amoebae to cooling tower biocides. J Microb Ecol 27:293–301
124. Steinert M, Hentschel U, Hacker J (2002) *Legionella pneumophila*: an aquatic microbe goes astray. FEMS Microbiol Rev 26:149–162
125. Stout JE, Yu VL (1997) Legionellosis. N Engl J Med 337: 682–687
126. Stout JE, Yu VL, Best MG (1985) Ecology of *Legionella pneumophila* within water distribution system. Appl Environ Microbiol 49:221–228
127. Straus DC (2011) The possible role of fungal contamination in sick building syndrome. Front Biosci 3:562–580

128. Szymura T (2006) Research on incrustation in a model evaporative cooler. *Physicochem Probl Mineral Process* 40:99–108
129. Taboada A, Sánchez E, Cava R, Marín F, López Gómez A (2007) Efectividad de desinfectantes de superficies de los equipos en instalaciones de envasado de productos listos para su consumo. In: *Proc V Congreso Iberoamericano de Tecnología Poscosecha y Agroexportaciones*. Cartagena, Spain
130. Tamime AY (ed) (2008) *Cleaning in place: dairy, food and beverage operations*, 3rd edn. Blackwell Publishing, Oxford, UK
131. Tamime AY (2009) *Milk processing and quality management*. Blackwell Publishing, Oxford, UK
132. Van der Kooija D, Veenendaala HR, Schefferb WJH (2005) Biofilm formation and multiplication of *Legionella* in a model warm water system with pipes of copper, stainless steel and cross linked polyethylene. *Water Res* 39:2789–2798
133. Vandenesch F, Surgot M, Bornstein N, Paucod JC, Marmet D, Isoard P, Fleurette J (1990) Relationship between free amoeba and *Legionella*: studies in vitro and in vivo. *Zentralbl Bakteriell* 272(3):265–275
134. Whyte P, Collins JD, Mc Gill K, Monohan C, O' Mahony H (2001) Distribution and prevalence of airborne micro organisms in three commercial poultry processing plants. *J Food Protect* 64:388–391
135. Whyte W (1986) Sterility assurance and models for assessing airborne bacterial contamination. *J Parenter Sci Technol* 40:188–197
136. Wirtanen G (2002) *Clean air solutions in food processing*. VTT publications 482 Finland
137. Wirtanen G, Salo S (2003) Disinfection in food processing efficacy testing of disinfectants. *Rev Environ Sci Biotechnol* 2:293–306
138. Yoder J, Roberts V, Craun GF, Hill V, Hicks L, Alexander NT, Radke V, Calderon RL, Hlavsa MC, Beach MJ, Roy SL (2008) Surveillance for waterborne disease and outbreaks associated with recreational water use and other aquatic facility associated health events United States, 2005–2006 and surveillance for waterborne disease and outbreaks associated with drinking water and water not intended for drinking United States, 2005–2006. *Morbidity Mortality Wkly Rep* 57:1–69
139. Yu VL, Plouffe JF, Pastoris MC, Stout JE, Schoushoe M, Widmer A, Summersgill J, File T et al (2002) Distribution of *Legionella* species and serogroups isolated by culture in patients with sporadic community acquired legionellosis: an international collaborative survey. *J Infect Dis* 186:127–128
140. Zalewski W, Niezgoda Zelasko B, Litwin M (2000) Optimization of evaporative fluid coolers. *Int J Refrig* 23:553–565
141. Zottola RA, Schmeltz DL, Jezeski JJ (1970) Isolation of *Salmonellae* and other airborne micro organisms in turkey processing plants. *J Milk Food Technol* 33:395–399
142. Zuraimi MS (2010) Is ventilation duct cleaning useful? A review of the scientific evidence. *Indoor Air* 20:445–457